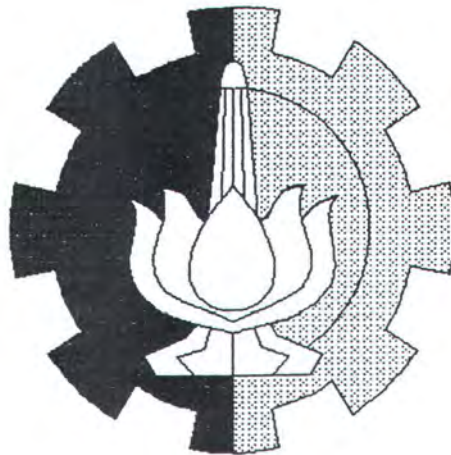


3100097008681

**TUGAS AKHIR (NA 1701**  
**ANALISA PENGELASAN TANPA PERSIAPAN**  
**SISI DENGAN LAS SAW PADA BAJA SS 41**



RSke  
671.521 2  
Fie.  
A-1  

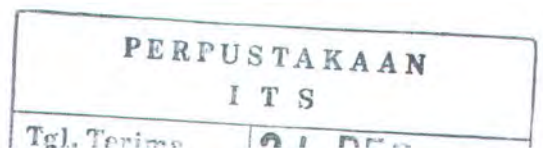
---

1996

**OLEH :**

**STERIE FIERLIANANTYO**  
**NRP. 4191100010**

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**1996**



## LEMBAR PENGESAHAN



Surabaya, Oktober 1996

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Soe', is written over the printed name. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.

Ir. Soeweify, M.Eng.

Nip. 130 368 597

## ABSTRAK

Secara umum pengelasan dengan las SAW (Submerged Arc Welding) pada sambungan butt joint terlebih dahulu dilakukan persiapan sisi. Hal ini dilakukan karena untuk menghindari kemungkinan terjadinya beberapa cacat seperti penetrasi yang kurang baik atau slag inclusion. Pada perkembangan berikutnya karena ada beberapa alasan terutama karena alasan efisiensi produksi kemudian dicoba untuk melakukan pengelasan tanpa melakukan persiapan sisi atau kadang disebut pengelasan celah sempit.

Dari beberapa literatur dijelaskan bahwa pengelasan tanpa persiapan sisi dapat dilakukan dengan beberapa variasi cara pengelasan seperti misalnya pengelasan dengan satu, dua, atau tiga elektrode.

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa terhadap kemungkinan terjadinya cacat dan sifat-sifat material dari hasil pengelasan tanpa persiapan sisi. Hasil dari pengelasan ini akan dibandingkan dengan salah satu cara pengelasan yang sudah umum yaitu dengan persiapan sisi. Pengujian yang dilakukan berupa uji X-ray, uji tarik, dan uji impact. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar cacat yang ditimbulkan karena pengelasan tanpa persiapan sisi dan tinjauan dari segi biaya produksi.

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah mengijinkan kami untuk menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul, “ ANALISA PENGELASAN TANPA PERSIAPAN SISI DENGAN LAS SAW PADA BAJA SS 41 “. Tugas ini merupakan syarat dalam menyelesaikan studi di TeknikPerkapalan FTK-ITS.

Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak, ibu, dan saudara-saudaraku yang telah memberi dorongan moril maupun materiil sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai.
2. Bapak Ir. Soejitno dan Bapak Ir. Andjar Suharto selaku Ketu Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan FTK-ITS.
3. Bapak Ir. Soeweify, M. Eng selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan ,saran, dan petunjuk dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Ir. P. Andrianto selaku Kepala Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan FTK-ITS beserta seluruh stafnya yang telah memberi ijin dan membantu dalam pengujian specimen.
5. Direktur Politeknik Perkapalan ITS dan Teknisi Laboratorium Perkakas Dingin beserta seluruh stafnya.
6. Seluruh teman-teman kami yang telah memberikan dukungan dan dorongan moril selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Oktober 1996

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>Abstrak.....</b>	<b>i</b>
<b>Kata pengantar.....</b>	<b>ii</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>iii</b>
<b>Daftar Gambar.....</b>	<b>vii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>ix</b>
<b>Bab I Pendahuluan.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Tujuan Penulisan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Metode Penyelesaian Masalah .....	3
<b>Bab II Metalurgi Pengelasan .....</b>	<b>4</b>
2.1 Pengelasan SAW .....	4
2.2 Beberapa Kondisi Dalam Pengelasan .....	5
2.3.1 Elektrode Polarity .....	5
2.3.2 Arus Listrik .....	5
2.3.3 Tengan Busur.....	7
2.3.4 Diameter Elektrode .....	7
2.3.5 Kecepatan Pengelasan .....	7
2.3.6 Sudut Elektrode .....	9
2.3.7 Ketebalan Flux .....	9
2.3 Cacat-cacat Dalam Pengelasan .....	9

2.3.1 Porosity .....	9
2.3.2 Retak Pada Daerah Las .....	10
2.3.2.1 Penyebab Retak Las .....	12
2.4 Tegangan Sisa .....	14
2.4.1 Terjadinya Tegangan Sisa .....	15
2.4.2 Pengaruh Tegangan Sisa Pada Patah Getas .....	16
2.5 Heat Input .....	17
2.6 Siklus Termal Daerah Lasan .....	18
2.6.1 Pembekuan Dalam Struktur Las .....	19
2.6.2 Siklus Termal Las .....	21
2.6.3 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas .....	23
<b>Bab III Pengelasan dan Kepatahan Lasan .....</b>	<b>25</b>
3.1 Klasifikasi Baja Karbon .....	25
3.1.1 Baja Lunak (mild steel) .....	25
3.1.2 Baja Kekuatan Tinggi (High Tensile Steel) .....	27
3.2 Pengelasan Baja Karbon .....	30
3.2.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah .....	30
3.2.2 Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi .....	31
3.2.3 Pengelasan Baja Karbon Paduan .....	32
3.3 Pengukuran Kekuatan Sambungan Las .....	33
3.3.1 Kekuatan Tarik .....	33
3.3.2 Kekuatan Tumbuk .....	34
3.3.3 Kekerasan .....	34

3.4 Patahnya Konstruksi las .....	36
3.4.1 Patah Ulet .....	36
3.4.2 Patah Getas .....	37
3.5 Tahanan Patah dan Cara Menanggulangi Patah Getas .....	38
<b>Bab IV Tinjauan Ekonomi .....</b>	<b>41</b>
4.1 Biaya Pengelasan .....	41
4.2 Kebutuhan Material .....	41
4.2.1 Elektrode .....	43
4.2.2 Flux .....	43
4.2.3 Waktu dan Tenaga Kerja .....	44
<b>Bab V Persiapan Dan Pelaksanaan Pengujian .....</b>	<b>46</b>
5.1 Pendahuluan .....	46
5.2 Persiapan .....	46
5.3 Uji Impact .....	48
5.4 Proses Pengujian Impact .....	49
5.5 Pengujian Tarik .....	51
5.5.1 Langkah Kerja Uji Tarik .....	52
5.6 Hasil Uji Tarik .....	53
5.7 Pengujian Radigrafi (X-ray) .....	53
<b>Baba VI Analisa Dan Kesimpulan .....</b>	<b>56</b>
6.1 Pendahuluan .....	56
6.2 Analisa Hasil Pengujian .....	56
6.2.1 Analisa Secara Visual .....	56



6.2.2 Analisa Hasil Uji X-ray .....	59
6.2.3 Ananlisa Hasil Uji Impact .....	59
6.2.4 Analisa Hasil Uji Tarik .....	62
6.2.5 Analisa Dari Segi Ekonomi .....	64
6.3 Kesimpulan Dan Saran .....	.7
6.3.1 Kesimpulan .....	67
6.3.2 Saran .....	68



## DAFTAR GAMBAR

Gbr. 2.1 Prinsip kerja dari las SAW .....	4
Gbr. 2.2 Besar arus yang dapat digunakan untuk beberapa diameter elektrode .....	6
Gbr. 2.3 Pengaruh tegangan busur pada bentuk manik las .....	6
Gbr. 2.4 Bentuk manik las akibat dari kombinasi tegangan tinggi dengan kecepatan rendah .....	8
Gbr. 2.5 Efek dari sudut elektrode pada bentuk manik .....	8
Gbr. 2.6 Beberapa contoh retak dingin .....	11
Gbr. 2.7 Beberapa contoh retak panas .....	11
Gbr. 2.8 Pengaruh kadar Belerang pada kepekaan retak lamel .....	14
Gbr. 2.9 Pembentukan tegangan sisa .....	15
Gbr. 2.10 Pengaruh tegangan sisa pada tegangan patah dari pelat uji dengan takikan .....	16
Gbr. 2.11 Arah pembekuan dari logam las .....	19
Gbr. 2.12 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las .....	22
Gbr. 2.13 Siklus termal dalam las busur tangan .....	22
Gbr. 2.14 Diagram CCT pada pengelasan BJ 55 .....	23
Gbr. 3.1 Hubungan antara kekerasan maximum daerah HAZ dan kadar karbon dalam baja karbon.....	31
Gbr. 3.2 Batang uji dan patahan dari uji tumbuk Charpy .....	34
Gbr. 3.3 Deformasi slip dan kembar yang terjadi dalam kristal .....	36
Gbr. 3.4 Patah ulet dan patah getas .....	36

Gbr. 3.5 Terjadinya patah ulet .....	37
Gbr. 3.6 Keadaan transisi pada patahan .....	39
Gbr. 3.7 Hubungan antara prosentase patah getas dan energi yang diserap dengan temperatur pengujian (Charpy takik V) .....	39
Gbr. 3.8 Kurva energi temperatur untuk beberapa baja (Charpy takik V-2) .....	40
Gbr. 5.1 Persiapan pengelasan pelat 12 mm .....	47
Gbr. 5.2 Pengambilan specimen uji dari material lasan .....	47
Gbr. 5.3 Specimen uji Impact.....	49
Gbr. 5.4 Specimen uji Tarik .....	52
Gbr. 5.5 Susunan dalam pengujian Radiografi .....	55
Gbr.6.1 Hasil pengelasan akibat loga las tidak cukup banyak untuk mengisi dari pengelasan .....	58
Gbr. 6.2 Penampang memanjang hasil uji Impact .....	60
Gbr. 6.3 Penampang melintang hasil uji Impact .....	60
Gbr. 6.4 Penguatan pada lasan .....	63
Gbr. 6.5 Konsentrasi tegangan pada las sudut .....	63
Gbr. 6.6 Dimensi sambungan las yang digunakan untuk CSA .....	65

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat konduktor dari beberapa jenis logam .....	17
Tabel 3.1 Spesifikasi baja lunak (JIS) .....	26
Tabel 3.2 Suhu pemanasan mula pada pengelasan baja karbon sedang dan karbon tinggi .....	32
Tabel 4.1 Cross section area dari beberapa konstruksi sambungan las.....	42
Tabel 4.2 Faktor ratio untuk beberapa metode pengelasan .....	44
Tabel 4.3 Deposit dari elektrode pada beberapa metode pengelasan .....	45
Tabel 5.1 Data untuk pengelasan .....	46
Tabel 5.2 Hasil uji Impact dengan noth pada HAZ .....	51
Tabel 5.3 Hasil uji Impact dengan noth pada weld metal .....	52
Tabel 5.4 Hasil uji Tarik .....	53
Tabel 6.1 Data hasil pengamatan secara visual .....	59
Tabel 6.2 Data hasil uji Impact pada daerah weld metal .....	61
Tabel 6.3 Data hasil uji Impact pada daerah HAZ .....	61
Tabel 6.4 Hasil perhitungan Cross Sectional Area .....	65
Tabel 6.5 Perhitungan biaya flux dan tenaga kerja .....	66



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada umumnya sebelum dilakukan pengelasan pada suatu sambungan logam dilakukan persiapan sisi, baik itu berupa pengelasan secara manual ataupun secara otomatis. Tujuan utama dilakukannya persiapan sisi adalah untuk mendapatkan penetrasi yang baik pada sisi-sisi dari logam dasar. Demikian juga pengelasan dengan las SAW (Submerged Arc Welding). Kemudian dicoba untuk melakukan pengelasan pada sambungan las (butt joint) tanpa melakukan persiapan sisi yaitu sisi-sisi dari logam dasar yang akan disambung tidak di bevel atau ditirus. Dengan pertimbangan, teknik ini mempunyai beberapa keuntungan seperti, waktu yang diperlukan selama proses pengelasan lebih singkat, biaya listrik lebih murah, demikian juga dengan konsumsi elektrode relatif lebih sedikit dan biaya yang diperlukan untuk melakukan persiapan sisi akan berkurang. Demikian juga jika digunakan pada pengelasan melingkar seperti pada pressure vessel karena dalam pengelasan ini dapat dilakukan sekali jalan hampir tanpa interupsi kecuali untuk pengisian elektrode jika gulungan elektrode telah habis.

Meskipun cara ini sangat menarik bukan berarti tanpa ada kesulitan dalam melakukan pengelasan karena cacat-cacat seperti penetrasi yang kurang sempurna pada sisi-sisi dari logam dasar, undercut, ataupun beberapa cacat yang disebabkan karena heat input yang tinggi sangat mungkin terjadi. Heat input ini sangat berpengaruh pada



pengelasan yang menggunakan las SAW karena las jenis ini menggunakan arus tinggi jika dibandingkan dengan jenis las lainnya. Ada beberapa kerugian yang disebabkan oleh heat input diantaranya adalah :

1. Tegangan sisa yang tinggi di lokasi yang terkena panas karena perbedaan pengurangan tegangan.
2. Mengurangi sifat ulet atau tingkat kekerasan pada daerah heat affected zone yang dapat menyebabkan timbulnya retak.
3. Mengurangi sifat toughness dari heat affected zone pada daerah sambungan.

Untuk mendapatkan hasil yang optimal dari pengelasan tanpa persiapan sisi ini tergantung dari beberapa faktor penting seperti arus listrik, voltage, kecepatan dari pengelasan, diameter elektrode dan jumlah elektrode yang digunakan apakah satu atau lebih.

## **1.2 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kemungkinan terjadinya cacat yang dihasilkan dari pengelasan tanpa persiapan sisi.
2. Mengetahui sifat-sifat mekanik dari sambungan las.
3. Memperhitungkan keuntungan yang didapat dari pengelasan tanpa persiapan sisi dari segi ekonomi atau biaya produksi.

### 1.3 Batasan Masalah

Karena begitu banyak parameter-parameter yang berpengaruh dalam proses pengelasan ini sehingga perlu untuk menyederhanakan permasalahan maka diambil batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan satu elektrode. ✓
2. Logam dasar yang digunakan adalah jenis mild steel SS 41 dengan tebal 12 mm. ✓
3. Menggunakan satu jenis elektrode dan satu jenis flux ✓
4. Pengujian yang dilakukan berupa uji tarik, uji impact, dan uji X-ray

### 1.4 Metode Penyelesaian Masalah

Metode penyelesaian yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

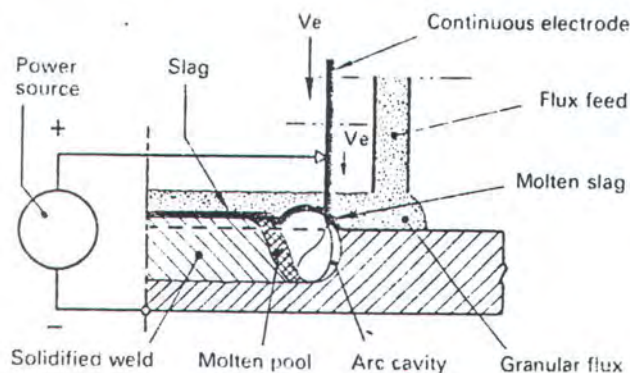
1. Melalui study literatur untuk dapat menjelaskan secara teoritis bahwa sifat-sifat mekanik dari pengelasan tanpa persiapan sisi mempunyai karakter yang sama dengan pengelasan yang menggunakan persiapan sisi dan mempunyai efisiensi yang lebih baik.
2. Melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran dari teori tersebut kemudian menyimpulkan faktor-faktor apa saja yang menyebabkan cacat pada pengelasan tanpa persiapan sisi dan bagai mana cara mengatasinya sehingga didapatkan metode yang benar-benar optimal.

## BAB II METALURGI PENGELASAN

### 2.1 Pengelasan SAW

Pada proses pengelasan SAW ini tidak terjadi radiasi dari busur las seperti pada proses pengelasan lainnya. Hal ini disebabkan adanya flux yang berfungsi merendam busur las sehingga las ini sering juga disebut Las Busur Rendam. Karena selama proses pengelasan tidak terjadi radiasi, maka tidak diperlukan kaca mata pelindung. Sedangkan flux yang digunakan selama proses pengelasan ini dapat digunakan lagi untuk proses berikutnya sedang cara pengambilannya dapat dilakukan dengan cara manual ataupun otomatis. Logam las yang dihasilkan hampir 100% karena kerugian akibat spatter sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Kerugian panas selama pengelasan juga sangat kecil karena flux yang merendam busur dan karena alasan ini efisiensi panas dari las SAW jauh lebih baik jika dibandingkan dengan jenis las lainnya.

Prinsip kerja dari las SAW dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini :



Gbr. 2.1 Prinsip kerja dari las SAW



## **2.2 Beberapa kondisi dalam pengelasan SAW**

Pemilihan kondisi pengelasan yang tepat dalam pengelasan SAW sangat penting terutama untuk pengelasan pelat tipis hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya cacat seperti retak, porosity, ataupun undercut. Kondisi pengelasan juga sangat mempengaruhi ukuran manik, bentuk manik, dan kedalaman penetrasi.

### **2.2.1 Elektrode Polarity**

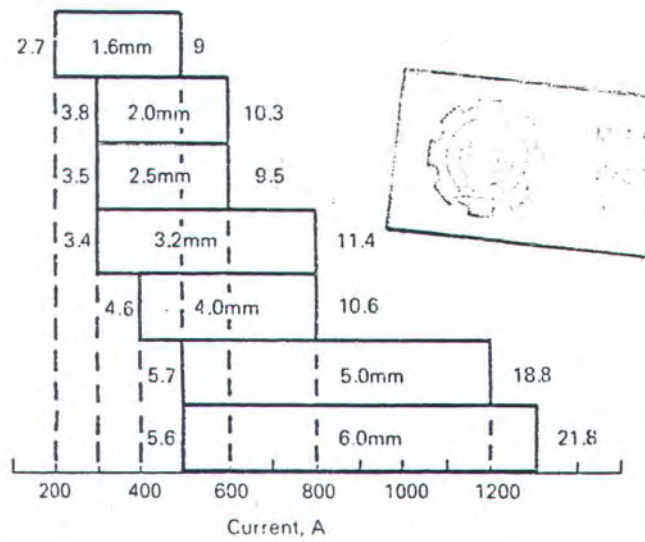
Penetrasi yang baik biasanya dapat dicapai dengan las jenis DCEP (Direct Current Electrode Positive) yang juga menghasilkan permukaan yang baik dan ketahanan terhadap porosity. Sedangkan pada DCEN (Dirrect Current Electrode Negative) menyebabkan busur las cepat padam sehingga mengurangi penetrasi. Karena alasan ini DCEN sering digunakan untuk keperluan terbatas yaitu untuk pengelasan pelat tipis .

### **2.2.2 Arus Listrik**

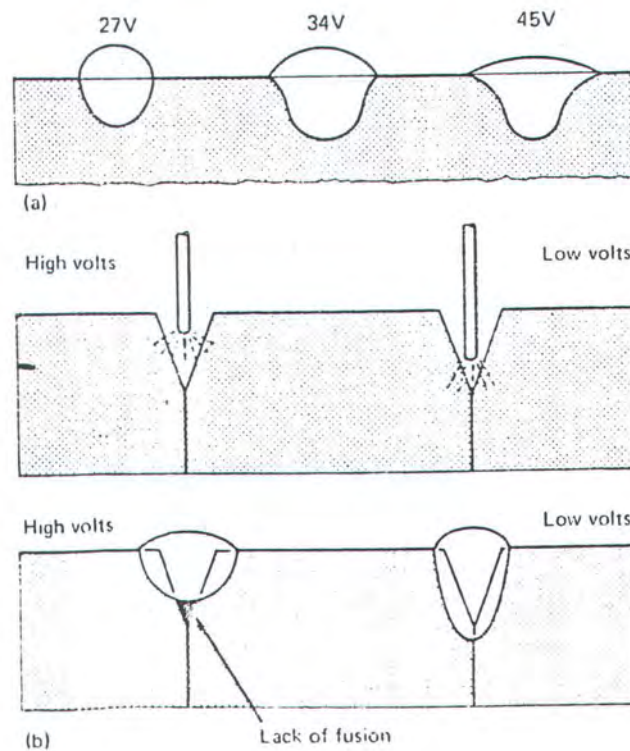
Harga deposit metal dapat dinaikkan dengan menaikkan arus sedangkan tegangan berpengaruh pada penetrasi. Jika tegangan terlalu rendah untuk diameter elektrode yang sama akan menghasilkan manik yang berbentuk buah pir. Sedangkan jika tegangan terlalu tinggi akan menyebabkan undercut karena overheating.

Tabel 2.1 di bawah ini memperlihatkan range dari besarnya arus yang digunakan untuk elektrode dengan arus maximum dan minimum untuk DCEP sedangkan untuk DCEN sekitar 35% lebih tinggi untuk masing-masing arus. Tabel ini dapat digunakan untuk mild steel dan low alloy electrode, tetapi tidak untuk stainless steel dan high nickel.





Gbr. 2.2 Besar arus yang dapat digunakan untuk beberapa diameter elektrode



Gbr. 2.3 Pengaruh tegangan busur pada bentuk manik las

### **2.2.3 Tegangan Busur**

Tegangan busur yang rendah akan menghasilkan penembusan yang dalam dengan manik las yang sempit sehingga menyebabkan manik yang berbentuk buah pir. Sedangkan jika menggunakan tegangan tinggi akan menghasilkan penembusan yang kurang dibandingkan penembusan dengan tegangan rendah dan menghasilkan manik yang datar yang dapat menyebabkan terjadinya retak tegang seperti terlihat pada gambar 2.2.

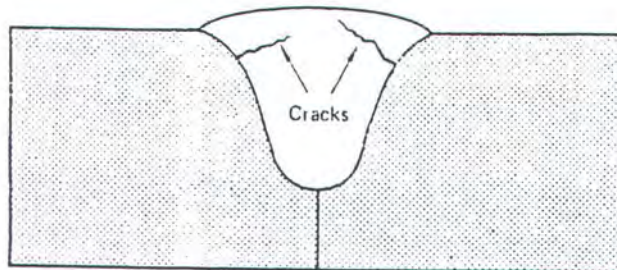
### **2.2.4 Diameter Electrode**

Pada umumnya electrode yang digunakan sekitar 2,0 - 6,0 mm. Hubungan antara elektrode dengan arus dapat dilihat pada tabel diatas. Dengan arus yang sama dan diameter elektrode yang lebih kecil akan menghasilkan penetrasi yang lebih baik dan manik yang lebih sempit jika dibandingkan dengan diameter yang lebih besar disebabkan adanya efek konsentrasi. Demikian juga dengan busur awal dan stabilitas secara umum akan lebih baik dengan elektrode diameter kecil.

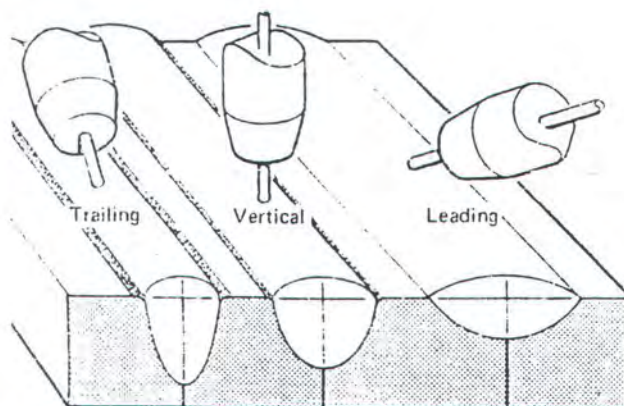
### **2.2.5 Kecepatan Pengelasan**

Dengan besar arus yang sama kecepatan pengelasan akan berbanding terbalik dengan ukuran manik. Dengan menaikkan kecepatan akan mengurangi lebar manik dan menaikkan kemungkinan terjadinya porosity, bahkan jika terlalu tinggi akan mengakibatkan undercut dan irregular bead. Pada kecepatan tinggi tegangan busur dapat dipertahankan rendah tetapi akan menyebabkan blow.

Kombinasi dari tegangan busur yang tinggi dan kecepatan yang rendah akan menghasilkan manik yang berbentuk mushroom dengan crack pada sisi-sisi manik.



Gbr. 2.4 Bentuk manik akibat dari kombinasi tegangan tinggi dengan kecepatan rendah



Penetration:

Deep

Moderate

Shallow

Reinforcement:

Max.

Moderate

Min.

Tendency to undercut:

Severe

Moderate

Min.

Gbr. 2.5 Efek dari sudut elektrode pada bentuk manik



### **2.2.6 Sudut elektrode**

Sudut antara elektrode dengan pelat sangat mempengaruhi kemungkinan terjadinya undercut dan besarnya penetrasi. Efek ini dapat dilihat pada gambar 2.4 di atas.

### **2.2.7 Ketebalan Flux**

Pada beberapa kasus pengelasan ketebalan dari flux sering diabaikan padahal untuk mencapai hasil yang maximum ketebalan flux harus cukup menutup busur las. Jika flux terlalu dangkal kilatan cahaya akan menembus flux dan dapat menyebabkan porosity serta permukaan yang kurang baik karena flux tidak cukup untuk menutup molten metal. Sedangkan jika flux terlalu tebal akan menghasilkan bentuk manik yang jelek.

## **2.3 Cacat-Cacat Dalam Pengelasan**

Cacat dalam pengelasan seperti bentuk manik yang kurang sempurna, slag inclusion, porosity, retak ataupun undercut akan selalu terjadi pada suatu hasil las-lasan. Umumnya cacat ini dihindari dengan pemakaian welding procedure yang benar namun usaha ini hanya bersifat meminimkan cacat yang terjadi tetapi tidak dapat menghilangkan cacat sama sekali.

### **2.3.1 Porosity**

Porosity ini kadang tampak di permukaan seperti lubang peniti dan kadang hanya bisa dilihat dengan X-ray atau ultrasonic test. Cacat jenis ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah :



1. Kontaminasi dari minyak, cat, pasir, atau sebab lainnya. Komposisi ini akan menghasilkan gas yang dapat menyebabkan porosity yang memanjang pada centreline hasil lasan.
2. Flux basah, sehingga flux harus dijaga tetap kering. Sebaiknya sebelum digunakan flux dikeringkan terlebih dahulu.

### **2.3.2 Retak Pada Daerah Las**

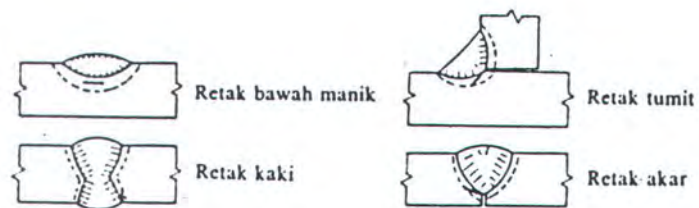
Retak las dapat dibagi dalam dua kelompok yaitu kelompok retak dingin dan kelompok retak panas. Retak dingin adalah retak yang terjadi di daerah las pada suhu di bawah suhu transformasi martensit yang tingginya kira-kira  $300^{\circ}\text{C}$ , sedangkan retak panas adalah retak yang terjadi pada suhu diatas  $550^{\circ}\text{C}$ .

Retak dingin dapat terjadi tidak hanya pada daerah HAZ, tetapi juga pada logam las. Retak dingin pada daerah pengaruh panas yang sering terjadi dapat dilihat pada gambar 2.5. Retak dingin utama pada daerah ini adalah retak bawah manik las, retak akar dan retak kaki. Sedangkan retak dingin pada logam las biasanya adalah retak memanjang dan retak melintang. Retak dingin disebabkan oleh tiga hal di bawah ini :

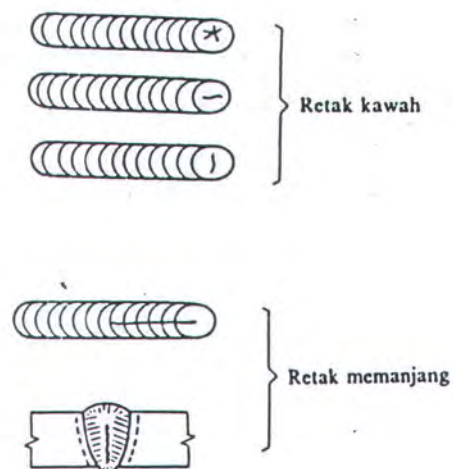
1. Struktur dari daerah pengaruh las
2. Difusi hidrogen didaerah las
3. Tegangan

Retak panas dibagi dalam dua kelas yaitu retak karena pembebasan tegangan pada daerah pengaruh panas yang terajdi pada suhu antaraa  $550^{\circ}\text{C}$ - $700^{\circ}\text{C}$  dan retak yang terjadi pada suhu diatas  $900^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada peristiwa pembekuan logam.

Retak panas sering terjadi pada logam las karena pembekuan, biasanya berbentuk retak kawah dan retak memanjang seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.6.



Gbr. 2.6 Beberapa contoh retak dingin



Gbr. 2.7 Beberapa contoh retak panas

### **2.3.2.1 Penyebab Retak Las dan Cara Menanggulanginya**

#### **(1) Retak dingin di daerah HAZ**

Retak dingin di daerah HAZ biasanya terjadi antara beberapa menit sampai 48 jam setelah pengelasan. Karena itu retak ini juga disebut retak lambat. Retak dingin disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

##### **1. Struktur daerah HAZ**

Struktur daerah HAZ ditentukan oleh komposisi kimia logam induk dan kecepatan pendinginan dari daerah las. Retak dingin di daerah HAZ dalam pengelasan baja biasanya terjadi pada daerah martensit. Karena itu kadar dari unsur paduan yang mempertinggi sifat mampu keras baja diusahakan serendah mungkin. Pengaruh unsur paduan terhadap kepekaan retak dingin daerah HAZ biasanya dapat dilihat dari harga ekuivalen karbon dari unsur-unsur yang dikandung dan harga parameter retak.

##### **2. Hidrogen difusi dalam daerah las**

Retak las juga dipengaruhi oleh adanya difusi hidrogen dari logam las ke dalam daerah HAZ. Pada waktu logam las masih mencair, logam ini menyerap hidrogen dengan jumlah besar yang dilepaskan dengan cara difusi pada suhu rendah karena pada suhu tersebut kelarutan hidrogen menurun. Hidrogen yang didifusikan ini menyebabkan retak di daerah HAZ. Sumber hidrogen yang diserap adalah air dan zat organik yang terkandung di dalam flux atau kelembaman udara atmosfer. Di samping itu minyak, zat organik, dan air yang melekat pada rongga-rongga dan permukaan pelat juga merupakan sumber hidrogen. Usaha menghindari retak las dapat dilakukan dengan menghilangkan sumber hidrogen dan melepaskan hidrogen yang telah diserap.



Untuk hal ini dilakukan penurunan kecepatan pendinginan dengan memberikan pemanasan mula pada temperatur antara 50°C sampai 200°C atau memberikan pemanasan kemudian pada temperatur antara 200°C sampai 300°C.

### **3. Tegangan**

Tegangan yang dapat mempengaruhi terjadinya retak las adalah tegangan sisa dan tegangan termal. Tegangan sisa banyak sekali tergantung pada rancangan las , proses pengelasan yang digunakan dan pengawasannya. Kenaikan dari tebal pelat akan mempertinggi besarnya tegangan sisa dan akan menyebabkan terjadinya retak las.

#### **(2) Retak panas**

Retak panas biasanya terjadi pada waktu logam las mendingin setelah pembekuan selesai. Retak ini terjadi karena adanya tegangan yang timbul yang disebabkan oleh penyusutan dan sifat baja yang ketangguhannya turun pada suhu sedikit di bawah suhu pembekuan. Usaha menghindari retak panas adalah menurunkan kadar Si dan Ni serendah mungkin dan menghilangkan kandungan S dan P sejauh mungkin.

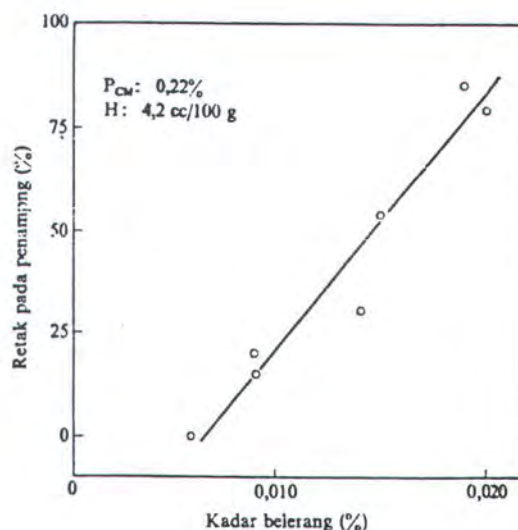
#### **(3) Retak lamel**

Pada konstruksi kerangka yang besar seperti bangunan laut, biasanya digunakan pelat tebal sehingga pada daerah las terjadi tegangan yang besar pula.

Karena tegangan ini kadang-kadang terjadi retak berumpak yang menjalar sepanjang butiran bukan logam yang ada dalam baja. Retak semacam ini disebut retak lamel.



Butiran dengan beentuk-bentuk kubus seperti  $MnS$  dan  $MnSiO_3$  biasanya lebih peka terhadap retak lamel dari pada butiran-butiran bulat. Karena hal tersebut diatas , maka pada baja tahan retak biasanya kadar belerang diusahakan serendah-rendahnya. Hubungan antara kadar belerang dan kapekaan retak lamel dapat dilihat pada gambar 2.7. Penambahan unsur Ce dan Ca pada baja dapat membentuk butiran bukan logam yang berbentuk bulat, sehingga pengurangan kepekaan terhadap retak lamel di samping pengurangan kadar S, dapat juga dilakukan dengan penambahan Ce dan Ca. Di samping sifat yang khusus, retak lamel juga mempunyai sifat seperti retak las pada umumnya.



Gbr. 2.8 Pengaruh kadar belerang pada kepekaan retak lamel

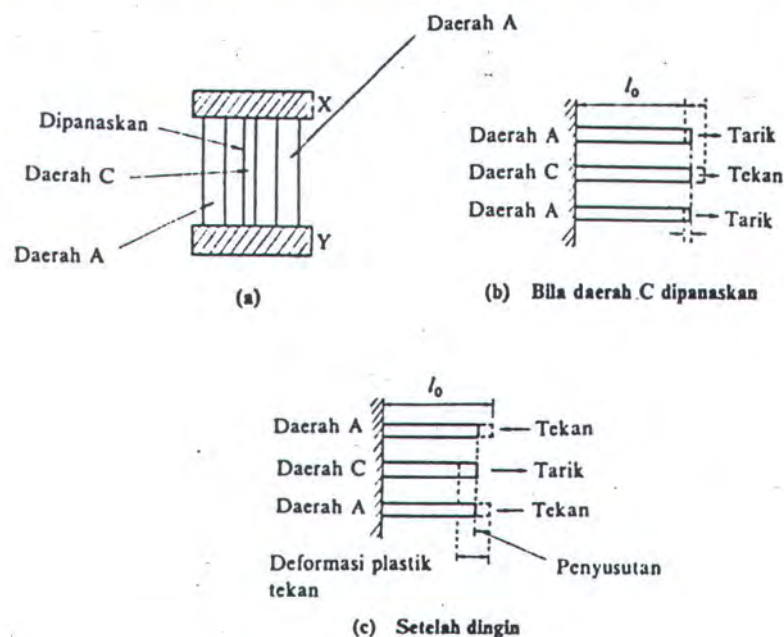
## 2.4 Tegangan Sisa

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas setempat dan selama proses berjalan suhunya berubah terus sehingga distribusi suhu tidak merata.

Karena panas tersebut, maka pada bagian yang dilas terjadi pengembangan termal sedangkan yang dingin tidak berubah. Hal ini yang menyebabkan terjadinya tegangan sisa. Tegangan sisa yang terjadi karena pengelasan ini dapat dibagi dalam dua kelompok, yaitu : Pertama tegangan sisa karena adanya halangan dalam yang terjadi karena pemanasan dan pendinginan setempat pada bagian konstruksi yang bebas dan Kedua tegangan sisa oleh adanya halangan luar, yang terjadi karena perubahan bentuk dan penyusutan dari konstruksi. Tegangan sisa dan perubahan bentuk yang terjadi sangat mempengaruhi sifat dan kekuatan dari sambungan las, karena itu usaha untuk mengatur dan mengurangi tegangan sisa dan perubahan bentuk perlu dilakukan.

#### 2.4.1 Terjadinya Tegangan Sisa

Terjadinya tegangan sisa dapat dilihat pada gambar 2.8 dimana daerah C mengembang pada waktu pengelasan. Pengembangan pada C ditahan oleh daerah A, sehingga pada daerah C terjadi tegangan tekan dan pada daerah A terjadi tegangan tarik.

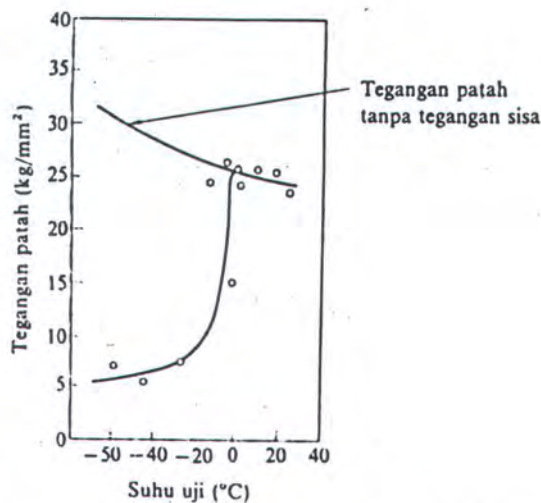


Gbr. 2.9 Pembentukan tegangan sisa

Pada waktu pengelasan selesai , terjadilah proses pendinginan dimana bagian C menyusut cukup besar disamping karena pendinginan juga karena adanya tegangan tekan. Penyusutan ini ditahan oleh daerah A , karena itu pada daerah C akan terjadi tegangan tarik yang diimbangi tegangan tekan pada daerah A.

#### 2.4.2 Pengaruh Tegangan Sisa Terhadap Patah Getas

Tegangan sisa berpengaruh jelek terhadap patah getas dari sambungan las. Hal ini dapat ditunjukkan dengan menarik batang uji bertakik kearah lasan pada suhu yang berlainan. Hubungan antara suhu dan tegangan patah getas ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gbr. 2.10 Pengaruh tegangan sisa pada tegangan patah dari pelat uji dengan takikan

Bila dalam sambungan tidak ada tegangan sisa, maka tegangan patah getas akan naik dengan diturunkannya suhu pengujian. Tetapi bila terdapat tegangan sisa , tegangan patah getasnya menurun dengan cepat pada suhu tertentu.



## 2.5 Heat Input

Keberhasilan dalam proses pengelasan tergantung juga pada heat input pada sambungan las. Pada saat busur las mulai menyala pada saat itu juga panas mulai masuk kedalam logam las, panas ini akan merambat kesamping kearah logam induk atau base metal. Dengan Bergeraknya panas kearah logam dasar, maka logam yang mempunyai sifat konduktor yang tinggi memerlukan panas yang lebih tinggi untuk dapat membentuk cairan logam lasan sebelum kehilangan panas karena merambat kearah logam dasar.

Karena sebab-sebab di atas, maka sifat konduktor dari logam dasar perlu diperhatikan sebelum menentukan kondisi pengelasan. Pada beberapa logam mempunyai sifat-sifat konduktor yang berbeda-beda, di bawah ini terdapat tabel yang menunjukkan sifat konduktor dari beberapa logam dengan skala 100.

Metal	Relative thermal conductivity
Copper	100
Aluminium	62
Steel	14
Lead	8

**Tabel 2.1 Sifat konduktor dari beberapa jenis logam**

Selama proses pengelasan, pada logam Copper panas akan merambat lebih cepat jika dibandingkan dengan Steel. Ini berarti untuk mencapai fusion yang bagus, Copper memerlukan panas yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan Steel. Dalam beberapa kasus hal ini tidak boleh dilakukan karena akan menyebabkan panas

yang berlebihan. Sehingga menghasilkan sifat logam lasan yang buruk. Pada logam aluminium meskipun mempunyai sifat konduktor yang tinggi, tidak terlalu sulit untuk menghasilkan cairan logam las karena hanya membutuhkan suhu sekitar 600 C, jika dibandingkan dengan Copper yang memerlukan suhu sekitar 1053 C, tetapi akan sangat sulit untuk menentukan batas antara logam las dengan logam dasar.

Usaha untuk mendapatkan sambungan las dengan sifat logam las yang baik salah satunya adalah dengan preheating. Preheating ini bertujuan untuk :

- Menurunkan perbedaan temperatur antara logam induk dengan logam lasa.
- Menurunkan sifat konduktor dari logam dasar sehingga dapat mengurangi besarnya heat input.

## **2.6 Siklus Termal Daerah Lasan**

Daerah lasan terdiri dari 3 bagian yaitu logam las, daerah pengaruh panas yang biasa disebut Heat Affected Zone atau HAZ, dan logam induk yang terpengaruhi. Logam las adalah bagian dari logam yang pada waktu pengelasan mencair kemudian membeku. Daerah pengaruh panas atau daerah HAZ adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat. Logam induk yang tak terpengaruhi adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur dan sifat. Di samping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah khusus yang membatasi antara logam las dan daerah pengaruh panas, yang disebut batas las. Dalam pembahasan siklus termal daerah lasan hal-hal yang perlu diperhatikan

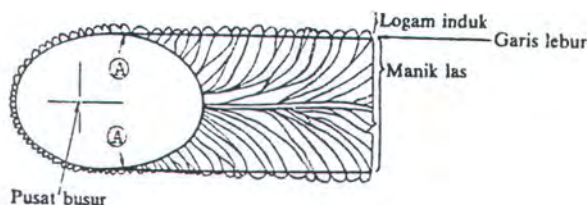


meliputi proses pembekuan , reaksi yang terjadi dan struktur mikro yang terbentuk yang masing-masing akan dibahas tersendiri.

### 2.6.1 Pembekuan Dan Struktur Logam Las

Dalam pengelasan cair bermacam-macam cacat terbentuk dalam logam las misalnya lubang halus dan retak. Banyak dan macamnya cacat yang terjadi tergantung dari pada kecepatan pembekuan.

Semua kejadian selama proses pendinginan dan pengelasan hampir sama dengan pendinginan dalam proses pengecoran. Perbedaannya adalah :



**Gbr. 2.11 Arah pembekuan dari logam las**



Dalam gambar 2.11 ditunjukkan proses pertumbuhan dari kristal-kristal logam las yang berbentuk pilar. Titik A dari gambar tersebut adalah titik mula dari struktur pilar yang selalu terletak dalam logam induk. Titik ini tumbuh menjadi garis lebur dengan arah yang sama dengan gerakan sumber panas.

### **(1) Pemisahan**

Di dalam logam terdapat tiga jenis pemisahan, yaitu pemisahan makro, pemisahan gelombang, dan pemisahan mikro. Perubahan makro adalah perubahan komponen secara perlahan-lahan yang terjadi mulai dari sekitar garis lebur menuju garis sumbu las, sedangkan pemisahan gelombang adalah perubahan komponen karena pembekuan yang terputus yang terjadi pada proses terbentuknya gelombang manik las. Perubahan mikro adalah perubahan komponen yang terjadi dalam satu pilar atau dalam bagian dari satu pilar.

### **(2) Lubang-Lubang Halus**

Lubang-lubang terjadi karena adanya gas yang tidak larut dalam logam padat. Lubang-lubang halus tersebut disebabkan tiga macam cara pembentukan gas sebagai berikut: Yang pertama pelepasan gas karena perbedaan batas kelarutan antara logam cair dan logam padat pada suhu pembekuan, yang kedua adalah terbentuknya gas karena adanya reaksi kimia di dalam logam las, dan yang ketiga penyusupan gas ke dalam atmosfer busur. Gas yang terbentuk karena perbedaan batas kelarutan dalam baja adalah gas hidrogen dan gas nitrogen, sedangkan yang terbentuk karena reaksi adalah terbentuknya gas CO dalam logam cair dan yang menyusup adalah gas-gas pelindung atau udara yang terkandung dalam akar kampuh las.

### **(3) Proses Deoksidasi**

Sebenarnya hanya sejumlah kecil gas oksigen yang larut dalam baja, tetapi karena tekanan disosiasi dari kebanyakan oksidasi sangat rendah, maka pada umumnya akan terbentuk oksida-oksida yang tetap. Karena pengukuran yang tepat untuk mengetahui jumlah oksigen yang larut sangat sukar, maka untuk melepaskan oksigen dari larutan biasanya dilakukan usaha-usaha menghilangkan oksida. Proses menghilangkan oksida ini disebut deoksidasi.

Kadar oksigen dalam baja tergantung pada kadar Si, Mn dan lain-lainnya. Ketangguhan dari logam las juga sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen, semakin tinggi kandungan oksigen akan menurunkan ketangguhan logam las. Untuk itu kandungan oksigen diusahakan serendah mungkin. Usaha menurunkan oksigen dapat dilakukan dengan menambahkan unsur-unsur yang bersifat deoksidai seperti Si, Mn, Al dan Ti.

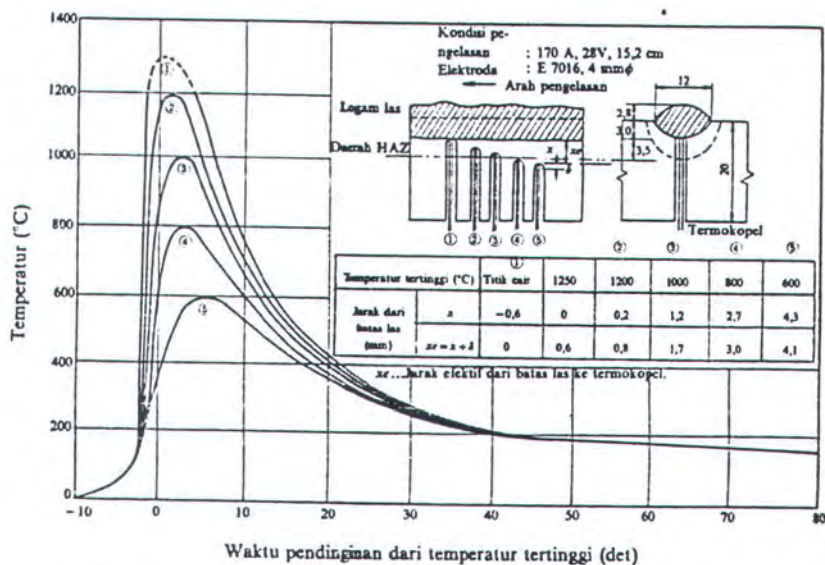
#### **2.6.2 Siklus Termal Las**

Siklus termal las adalah proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Sebagai contoh pada gambar Gbr. 2.11 dan Gbr. 2.12 ditunjukkan siklus termal daerah lasan dari las busur listrik dengan elektrode terbungkus. Dalam gambar 2.11, dapat dilihat siklus termal dari beberapa tempat dalam daerah HAZ dengan kondisi pengelasan tetap. Sedangkan gambar 2.12, menunjukkan siklus termal di sekitar lasan dengan kondisi pengelasan yang berbeda.

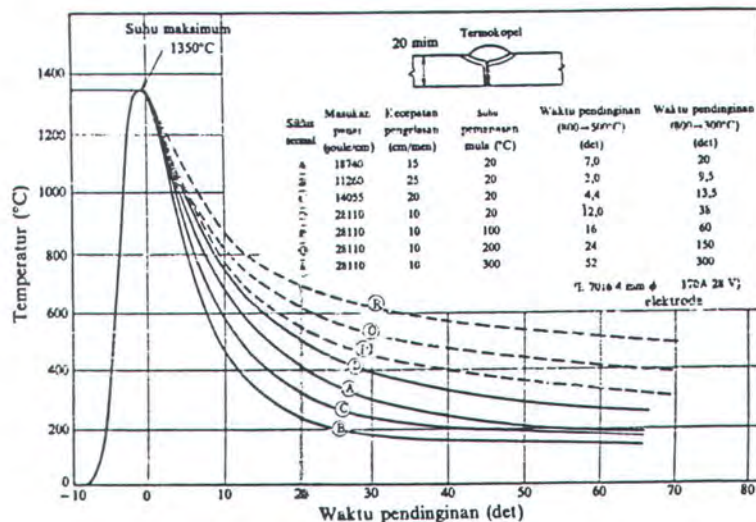
Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal sangat mempengaruhi kualitas dari sambungan las. Karena itu banyak sekali usaha-usaha pendekatan dengan menentukan lamanya waktu pendinginan tersebut. Pendekatan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk rumus empiris.



Struktur mikro dan sifat mekanik dari daerah HAZ sebagian besar tergantung pada lamanya pendinginan dari temperatur  $800^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan retak dingin, dimana hidrogen memegang peranan penting, terjadinya sangat tergantung dari lamanya pendinginan dari temperatur  $300^{\circ}\text{C}$  sampai  $100^{\circ}\text{C}$ .



Gbr. 2.12 Siklus termal las pada beberapa jarak dari batas las

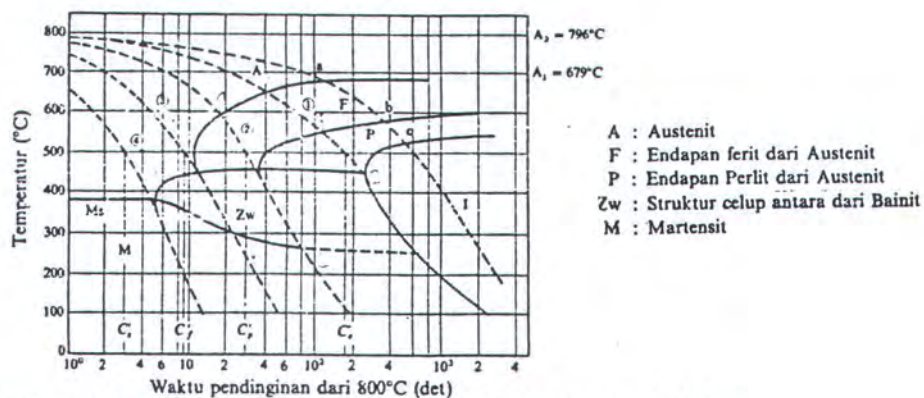


Gbr. 2.13 Siklus termal dalam las busur tangan



### 2.6.3 Struktur Mikro Daerah Pengaruh Panas

Struktur, kekerasan, dan berlangsungnya transformasi dari daerah HAZ dapat dibaca dengan segera pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau diagram CCT. Diagram semacam ini dapat digunakan untuk membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya, yang kemudian dapat dipakai untuk menentukan prosedur dan cara pengelasan.



Gbr. 2.14 Diagram CCT pada pengelasan baja kekuatan BJ55

Suatu contoh dari diagram CCT ditunjukkan pada gambar 2.13. Di sini ditunjukkan hubungan antara suhu muladan suhu akhir transformasi dengan lama pendinginan dari 800°C (garis tebal), untuk baja kuat (55 kg/mm<sup>2</sup>) yang dipanaskan dengan cepat ke temperatur 1300°C dan kemudian didinginkan dengan kecepatan yang berbeda-beda. Garis putus-putus menunjukkan beberapa contoh siklus termal las, yang bila digabung dengan garis tebal dari diagram CCT seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13, dapat menunjukkan tahap-tahap transformasi selama pendinginan dan dapat dipakai untuk meramalkan struktur akhir yang akan terbentuk.

Sebagai contoh misalnya dalam hal siklus termal las 1, bila baja telah dingin sampai titik "a" (680° c), maka ferit mulai diendapkan dari austenit. Transformasi ini

berjalan terus dan baru berakhir bila titik “b” (590°C) dicapai dan kemudian diganti dengan transformasi pengendapan perlit yang akan berakhir pada titik “c” (520°C). Dari pembahasan di atas dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan struktur yang terbentuk adalah ferit dan perlit.

Dengan analisa yang sama dapat diramalkan bahwa setelah pendinginan akan terbentuk seperti berikut :

1. Dengan siklus termal las antara (1) dan (2) akan terbentuk ferit , struktur antara dan martensit.
2. Dengan siklus termal las antara (2) dan (3) akan terbentuk ferit, struktur antara dan martensit.
3. Dengan siklus termal las antara (3) dan (4) akan terbentuk struktur antara dan martensit.
4. Dengan pendinginan lebih cepat dari (4) akan terbentuk martensit.

Biasanya diagram transformasi pendinginan berlanjut menunjukkan juga kekerasan yang dimiliki oleh baja setelah mendingin mengikuti suatu siklus termal tertentu. Karena itu dengan mengukur waktu pendinginan dari 800 C sampai 500 C dan menggabungkan dengan diagram CCT dari baja yang sama, maka struktur dan kekerasan baja pada daerah HAZ dapat diketahui.



## **BAB III    PENGELASAN BAJA DAN KEPATAHAN LASAN**

### **3.1 Klasifikasi Baja Karbon**

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan sedikit Si , Mn , P , S dan Cu . Sifat baja karbon sangat dipengaruhi oleh kadar karbonnya karena itu baja ini diklasifikasikan berdasarkan kandungan karbon yang ada didalamnya, antara lain :

- Baja Karbon Rendah ( Low Carbon Steel ) mengandung kurang dari 0.30% C.
- Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel ) mengandung 0.30% sampai 45% C.
- Baja Karbon Tinggi ( High Carbon Steel ) mengandung 0.45% - 1.7% C.

Kenaikan kandungan karbon dalam baja, walaupun hanya sedikit saja akan mempengaruhi pada sifat baja, antara lain :

1. Titik leleh baja lebih tinggi dan tahan panas.
2. Baja menjadi lebih keras, kurang mudah dimesin.
3. Kekuatan tarik bertambah dan ke-ductile-an turun
4. sifat mampu las baja turun.

#### **3.1.1 Baja Lunak ( Mild Steel )**

Baja lunak adalah termasuk Baja Karbon Rendah dengan kandungan karbon tidak lebih dari 0.3 %. Sifat mekanik dari baja karbon rendah ini antara lain :

1. Kekuatan tarik rendah , berkisar antara 40 sampai 50 kg/mm<sup>2</sup>.
2. Keuletan tinggi sampai 25 - 40 %.
3. Kekerasan antara 110 sampai 150 Brinnel.



4. Mudah dibentuk dan sifat mampu las sangat baik tapi tidak sepenuhnya dapat diperlakukan panas.

Baja lunak ini sangat luas penggunaannya sebagai baja konstruksi, rangka bangunan, pelat lambung dan rangka kapal dan lain sebagainya. Dalam tabel dibawah ini ditunjukkan beberapa contoh spesifikasi baja lunak menurut standar JIS.

Jenis	Tebal pelat t (mm)	Komposisi Kimia (%)					Kekuatan luluh (kg/mm <sup>2</sup> )	Kekuatan tarik (kg/mm <sup>2</sup> )
		C	Si	Mn	P	S		
SS34	t ≤ 5	—	—	—	≤ 0,050	≤ 0,050	≥ 21	34-44
	5 < t ≤ 16				•	•	•	
	16 < t ≤ 40				•	•	≥ 20	
	40 < t				•	•	≥ 18	
SS41	t ≤ 5	—	—	—	≤ 0,050	≤ 0,050	≥ 25	41-52
	5 < t ≤ 16				•	•	•	
	16 < t ≤ 40				•	•	≥ 24	
	40 < t				•	•	≥ 22	
SS50	t ≤ 5	—	—	—	≤ 0,050	≤ 0,050	≥ 29	50-62
	5 < t ≤ 16				•	•	•	
	16 < t ≤ 40				•	•	≥ 28	
	40 < t				•	•	≥ 26	
SS55	t ≤ 5	≤ 0,30	—	≤ 1,60	≤ 0,40	≤ 0,040	≥ 41	≥ 50
	5 < t ≤ 16					•	•	
	16 < t ≤ 40					•	•	
	40 < t					•	•	
SH42	t ≤ 25	≤ 0,24	0,15-0,30	≤ 0,90	≤ 0,035	≤ 0,040	≥ 23	42-56
	25 < t ≤ 50	≤ 0,27						
	50 < t ≤ 200	≤ 0,30						
SD46	t ≤ 25	≤ 0,28	0,15-0,30	≤ 0,90	≤ 0,035	≤ 0,040	≥ 25	46-60
	25 < t ≤ 50	≤ 0,31						
	50 < t ≤ 200	≤ 0,33						
SD49	t ≤ 25	≤ 0,31	0,15-0,30	≤ 0,90	≤ 0,035	≤ 0,040	≥ 27	49-63
	25 < t ≤ 50	≤ 0,33						
	50 < t ≤ 200	≤ 0,35						
SH41A	t ≤ 5	≤ 0,23	—	≤ 2,5C	≤ 0,040	≤ 0,040	≥ 25	41-52
	5 < t ≤ 16	•					•	
	16 < t ≤ 40	•					≥ 24	
	40 < t ≤ 50	•					≥ 22	
SH41B	50 < t ≤ 160	≤ 0,25					•	
	t ≤ 5	≤ 0,20	≤ 0,35	≤ 0,60-1,20	≤ 0,040	≤ 0,040	≥ 25	41-52
	5 < t ≤ 16	•					•	
	16 < t ≤ 40	•					≥ 24	
	40 < t ≤ 50	•					≥ 22	
SM41C	50 < t ≤ 100	≤ 0,22					•	
	t ≤ 5	≤ 0,18	≤ 0,35	≤ 1,40	≤ 0,040	≤ 0,040	≥ 25	41-52
	5 < t ≤ 16	•					•	
	16 < t ≤ 40	•					≥ 24	
	40 < t ≤ 50	•					≥ 22	
SPV24	50 < t ≤ 100	≤ 0,20					•	
	t ≤ 16	≤ 0,18	0,15-0,35	≤ 1,40	≤ 0,035	≤ 0,040	≥ 24	41-52
	16 < t ≤ 40	•					•	
	40 < t ≤ 50	•					≥ 22	
	50 < t ≤ 100	•					•	

Tabel 3.1 Spesifikasi baja lunak (JIS)

### 3.1.2 Baja Kekuatan Tinggi (High Tensile Steel )

Baja diperkuat atau baja kekuatan tinggi adalah baja yang mempunyai kekuatan lebih tinggi dari baja lunak , dengan kuat tarik berkisar antara 50 sampai 100 kg/mm<sup>2</sup>. Baja kekuatan tinggi merupakan baja karbon rendah yang mendapat perlakuan tertentu yang dapat meningkatkan kekuatan baja. Penguatan baja dapat dilakukan dengan beberapa cara , antara lain :

- Dengan penambahan kandungan karbon ; Penambahan unsur karbon dalam baja akan meningkatkan kekuatan tarik baja , menaikkan titik leleh, meningkatkan kekerasan dan menurunkan sifat mampu las baja. Sehingga penambahan unsur karbon harus diimbangi dengan penambahan unsur Mn dan Si yang dapat memperbaiki sifat-sifat baja. Penguatan ini menghasilkan baja karbon menengah atau baja karbon tinggi.
- Penambahan unsur paduan ; Penambahan unsur-unsur paduan seperti Cr , Ni , Mn , S dan lainnya dengan kadar karbon sama dengan baja lunak akan memperbaiki sifat-sifat baja. Dengan penambahan unsur paduan ini kekuatan baja dapat dinaikkan tanpa mengurangi ke-ductile-annya. Disamping itu sifat lainnya seperti kekuatan fatik dan daya tahan terhadap korosi, terhadap aus dan terhadap panas juga menjadi lebih baik.

Berdasarkan proses pembuatannya baja kekuatan tinggi dikelompokkan dalam :

1. Baja-baja Rol ; Pengaturan dalam proses pengerolan sangat membantu dalam pembuatan baja untuk mendapatkan kekuatan tarik dan takik yang tinggi. Baja pelat rol biasanya dihasilkan dengan mengerol cepat pelat yang telah dipanaskan sampai



suhu  $1250^{\circ}\text{C}$  , sehingga baja yang dihasilkan mempunyai kekuatan takik rendah. Bila diminta untuk menghasilkan baja dengan ketangguhan yang tinggi maka pengerolan harus dilakukan pada temperatur yang rendah. Pengerolan akhir untuk baja ini sekitar  $700^{\circ}\text{C}$  , yaitu suhu daerah campuran austenit dan ferit. Makin rendah suhu pengerolannya makin baik sifat kekuatan takiknya yang disebabkan oleh butir-butir ferit yang menjadi lebih halus. Untuk memperbaiki sifat baja kadang-kadang ditambahkan sedikit unsur V dan Nb yang akan mempertinggi kekuatan baja dengan membentuk endapan halus VN dan NbC pada waktu terjadi transformasi austenit ke ferit sesaat setelah pengerolan selesai. Baja-baja pelat rol dengan pengaturan seperti diatas biasanya digunakan untuk baja konstruksi dengan kekuatan tarik antara 50 sampai  $60 \text{ kg/mm}^2$ .

2. Baja Normal Dan Baja Normal Temper ; Baja ini pada dasarnya adalah baja dengan struktur mikro ferit-perlit dengan kekuatan tarik sekitar  $60 \text{ kg/mm}^2$ . Perbedaan baja ini terhadap baja rol biasa adalah bahwa walaupun dalam proses pembuatannya menjalani pengerjaan panas pada suhu  $900^{\circ}\text{C}$  yang menurunkan kekuatan dan keuletan , sifat-sifat tersebut masih dapat diperbaiki dengan perlakuan panas. Perlakuan panas yang dimaksudkan adalah memanaskan sampai mencapai suhu transformasi dan kemudian didinginkan di udara. Perlakuan panas ini dinamakan penormalan. Kadang-kadang setelah penormalan masih diikuti dengan pemanasan dibawah temperatur transformasi dan diikuti dengan pendinginan dengan kecepatan tertentu. Proses kedua ini dinamakan penemperan. Baja dalam kelompok ini biasanya selalu mengandung unsur Al yang dapat mengendapkan gas nitrogen dalam bentuk AlN pada proses transformasi ferit-austenit. Sifat yang baik



lainnya dari baja ini adalah tidak mudah mengeras karena peregangan atau deformasi. Karena sifat-sifat yang baik tersebut, maka baja ini banyak digunakan untuk kapal-kapal tangki minyak kasar, bejana tekan dan lain sebagainya. Pelat-pelat baja normal dan baja normal temper yang dapat dihasilkan dengan tanpa penambahan unsur khusus, berdasarkan JIS hanya sampai SM 53 atau SPV 36. Untuk baja dengan kekuatan yang lebih tinggi perlu adanya penambahan unsur-unsur Mo , V dan lainnya. Karena hal ini maka pembuatan pelat baja dengan kekuatan  $58 \text{ kg/mm}^2$  (SM 58 ) atau lebih, seringkali harus menggunakan proses penemperan.

3. Baja Celup Dan Temper ; Baja-baja kuat yang memerlukan kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  atau lebih, seringkali harus mengalami proses celup dan temper. Celup adalah proses perlakuan panas dengan mendinginkan baja dari suhu austenit ke suhu kamar dengan mencelupkan ke dalam air atau minyak. Komposisi kimia baja celup temper kekuatan  $60 \text{ kg/mm}^2$  tidak banyak berbeda dengan baja normal kekuatan  $50 \text{ kg/mm}^2$  , karena itu sifat mampu lasnya juga hampir sama. Tetapi untuk pelat tebal, ke dalam pelat tersebut harus ditambahkan sedikit unsur-unsur paduan seperti Ni , Mo atau Cr yang dapat menjamin sifat mampu-kerasnya, dan kadang-kadang juga V yang dapat menyebabkan terjadinya pengerasan kedua pada proses temper. Struktur mikro yang terjadi jarang sekali mencapai martensit sempurna, biasanya yang terbentuk adalah ferit dan bainit. Baja dengan kekuatan  $70 \text{ kg/mm}^2$  dan  $80 \text{ kg/mm}^2$  biasanya mengandung unsur-unsur paduan Cu , Ni , Cr , Mo , V dan lain sebagainya. Hal yang penting dalam menghasilkan baja ini adalah usaha untuk menurunkan karbon ekuivalen serendah mungkin sehingga sifat mampu-lasnya tetap

tinggi dan pengaturan struktur mikro pengeras yaitu struktur mikro ganda dari bainit halus dan martensit yang dapat memperbaiki kekuatan takik.

### **3.2 Pengelasan Baja Karbon**

#### **3.2.1 Pengelasan Baja Karbon Rendah**

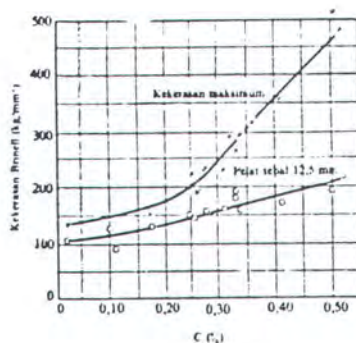
Faktor yang sangat mempengaruhi sifat mampu las dari baja karbon rendah adalah kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las. Kekuatan takik pada baja karbon rendah dapat dipertinggi dengan menurunkan kadar karbon dan menaikkan kadar Mn. Suhu transisi dari kekuatan takik menjadi turun dengan naiknya harga perbandingan Mn/C. Baja karbon rendah mempunyai kepekaan retak las yang rendah bila dibandingkan dengan baja karbon lainnya atau dengan baja karbon paduan. Tetapi retak las pada baja ini dapat terjadi dengan mudah pada pengelasan pelat tebal atau bila didalam baja tersebut terdapat belerang bebas yang cukup tinggi

Baja karbon rendah dapat dilas dengan semua cara pengelasan yang ada didalam praktek dan hasilnya akan baik bila persiapannya sempurna dan persyaratannya dipenuhi. Pada kenyataanya baja karbon rendah adalah baja yang mudah dilas. Retak las yang mungkin terjadi pada pengelasan pelat tebal dapat dihindari dengan pemanasan mula atau dengan menggunakan elektroda hidrogen rendah.



### 3.2.2 Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi

Baja karbon sedang dan karbon tinggi mengandung banyak karbon dan unsur lain yang dapat memperkeras baja. Karena itu daerah pengaruh panas atau daerah HAZ pada baja ini mudah menjadi keras bila dibandingkan dengan baja karbon rendah. Hubungan antara kekerasan maksimum yang dapat dicapai dan kadar karbon dapat dilihat Gbr. 3.1.



Gbr. 3.1 Hubungan antara kekerasan maksimum pada daerah HAZ dan kadar karbon dalam baja karbon.

Sifatnya yang mudah menjadi keras ditambah dengan adanya hidrogen difusi menyebabkan baja ini sangat peka terhadap retak las. Di samping itu pengelasan dengan menggunakan elektroda yang sama kuat dengan logam lasnya mempunyai perpanjangan yang rendah. Terjadinya retak dapat dihindari dengan pemanasan mula dengan suhu yang sangat tergantung dari kadar kadar karbon. Dalam tabel 3.2 ditunjukkan suhu pemanasan mula yang dianjurkan. Dan untuk mengurangi hidrogen



difusi yang juga menyebabkan terjadinya retak las harus digunakan elektroda hidrogen rendah.

Kadar karbon ( % )	Suhu Pemanasan Mula ( °C )
0.20 Maksimum	90 Maksimum
0.20 - 0.30	90 - 150
0.30 - 0.45	150 - 260
0.45 - 0.80	260 - 420

Tabel 3.2 Suhu Pemanasan Mula Pada Pengelasan Baja Karbon Sedang dan Baja Karbon Tinggi

### 3.2.3 Pengelasan Baja Karbon Paduan

Dalam pengelasan baja karbon paduan dapat terjadi kerusakan sifat daerah lasan karena adanya siklus termal. Karena itu pengawasan prosedur dan kondisi pengelasan untuk baja ini harus ketat. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengelasan baja karbon paduan antara lain :

1. Perubahan struktur pada daerah las ; Selama pengelasan , karena adanya pemanasan dan pendinginan yang cepat daerah HAZ menjadi keras. Kekerasan yang dapat dicapai tergantung pada kecepatan pendinginan dan komposisi kimianya.
2. Retak las ; Retak las adalah cacat yang berbahaya bagi keamanan konstruksi las , karena itu hal ini harus dihindari sejauh mungkin. Dari pengalaman terdapat tiga faktor yang mempengaruhi terbentuknya retak las , yaitu pengerasan daerah HAZ

yang tergantung pada komposisi kimia dari baja , hidrogen difusi pada daerah HAZ dan tegangan pada sambungan. Ketiga faktor ini disatukan dan dijadikan sebagai dasar kriteria yang disebut parameter retak las.

3. Penggetasan daerah kas ; Pada pengelasan baja kekuatan tinggi yang mendapat perlakuan panas akan terjadi pelunakan dan penurunan ketangguhan pada daerah HAZ bila digunakan pengelasan dengan masukan panas tinggi. Karena hal ini maka perlu adanya pembatasan masukan panas. Dalam menentukan syarat pengelasan , masukan panasnya dapat diambil sebagai berikut :

- Baja BJ60 ( yang tidak dikeraskan ) : 90.000 J/cm
- Baja BJ60 ( celup dan temper ) : 70.000 J/cm
- Baja BJ70 dan BJ80 ( celup dan temper ) : 50.000 J/cm

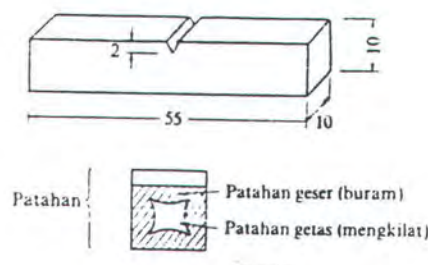
### **3.3 Pengukuran Kekuatan Sambungan Las**

#### **3.3.1 Kekuatan Tarik**

Sifat tarikan yang dimaksudkan disini adakah sifat-sifat yang berhubungan dengan pengujian tarik. Dalam sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk , sifat daerah HAZ , sifat logam las dan sifat-sifat dinamik sambungan yang berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan. Karena proses pengelasan dengan menggunakan las SAW sangat berpengaruh pada daerah HAZ , maka uji tarik ini diperlukan dalam analisa tugas akhir ini.

### 3.3.2 Kekuatan Tumbuk

Kekuatan tumbuk dari suatu bahan adalah kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan palu ayun seperti yang terlihat dalam Gbr. 3.2.



Gbr. 3.2 batang uji dan patahan dari uji tumbuk Charpy

Jadi jelas disini bahwa kekuatan tumbuk adalah sifat logam yang sama dengan ketangguhan. Sifat ini perlu diperhatikan karena logam dengan kekuatan tarik yang sama belum tentu mempunyai kekuatan tumbuk atau ketangguhan yang sama dan logam yang kuat belum tentu ketangguhannya tinggi. Hal yang jelas adalah bahwa sifat ini menurun dengan menurunnya temperatur dan menurun dengan mendadak pada suatu suhu tertentu yang disebut suhu transisi.

### 3.3.3 Kekerasan

Kekerasan merupakan ukuran ketahanan bahan terhadap deformasi tekan. Sebuah indenter yang keras ditekan ke permukaan logam yang diuji. Deformasi yang terjadi merupakan kombinasi perilaku elastis dan plastis, akan tetapi kekerasan umumnya hanya berkaitan dengan sifat plastis dan hanya sebagian kecil bergantung



pada sifat elastis. Dikenal beberapa cara pengukuran kekerasan , seperti kekerasan gores , yang bergantung pada kemampuan gores bahan yang satu terhadap bahan lainnya.

Ada beberapa macam pengukuran kekerasan yang perbedaan pokok terletak pada bentuk indentor yang ditekan pada permukaan.

- Uji kekerasan Brinell menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan.
- Uji kekerasan Vickers menggunakan indentor piramida intan dengan sudut  $136^\circ$ .
- Uji kekerasan Rockwell menggunakan indentor kerucut intan dengan sudut  $120^\circ$  dan ujung yang agak bulat.

Meskipun indentornya berbeda , bilangan kekerasan menggambarkan perbandingan antara beban dan luas permukaan jejak. Ada formula kekerasan yang umum digunakan yaitu :

$$\text{Bilangan Kekerasan Brinell ( BHN )} = \frac{P}{0.5 \pi D ( D - ( D^2 - d^2 )^{0.5} )}$$

$$\text{Bilangan Kekerasan Vickers ( VHN )} = \frac{1.854 P}{L^2}$$

dimana :  $P$  = beban [ kg ] ;  $D$  = diameter bola [ mm ] ;  $d$  = diameter jejak [ m ]

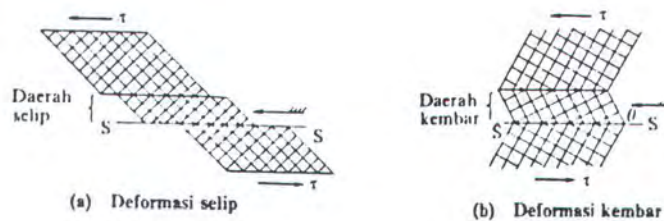
$L$  = diagonal indentasi piramida rata-rata [ mm ]

Sedang untuk pengukuran kekerasan Rockwell dapat terbaca langsung pada alat pengukurnya.

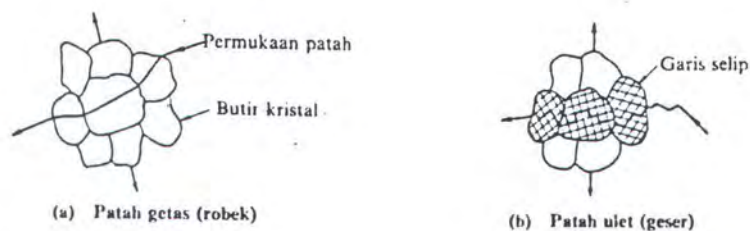
### 3.4 Patahnya Konstruksi Las

#### 3.4.1 Patah Ulet

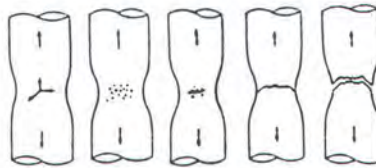
Gambar-gambar yang menunjukkan proses terjadinya patahan ditunjukkan dalam Gbr. 3.3 , Gbr. 3.4 , Gbr 3.5 berikut.



Gbr. 3.3 Deformasi slip dan kembar yang terjadi dalam kristal



Gbr. 3.4 Patah ulet dan patah getas



Gbr. 3.5 Terjadinya patahan ulet

Ciri-ciri dari patahan ulet adalah sebagai berikut :

1. Terlihat adanya deformasi plastik yang cukup banyak seperti terjadinya deformasi slip dan deformasi kembar.
2. Butir-butir kristal berubah bentuk memanjang karena adanya regangan geser.
3. Penampang lintang dari benda mengecil dan untuk baja , muka patahnya berwarna keabu-abuan.

#### 3.4.2 Patah Getas

Patah getas terjadi pada saat yang tidak dapat diduga , baik pada waktu pembuatan maupun sesudah selesai pembuatan , dengan beban yang lebih rendah dari batas luluh bahan. Karena tidak dapat diduga sebelumnya , maka banyak kecelakaan kerusakan dan kerugian yang diakibatkan oleh terjadinya patah getas.

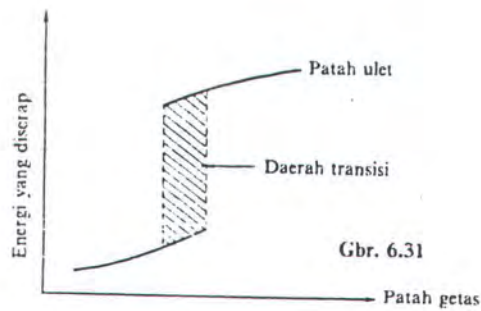
Hal-hal umum yang terdapat dalam patah getas adalah sebagai berikut :



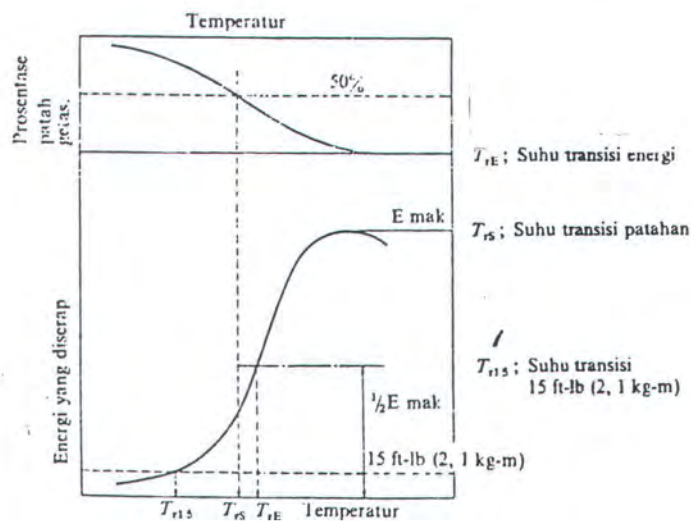
1. Kemungkinan terjadinya lebih besar pada suhu yang lebih rendah dari suhu ruang. Patahannya tegak lurus terhadap arah tegangan tarik dengan permukaan patahan yang mengkilat. Hal ini disebabkan karena patah terjadi pada permukaan kristal. Di samping itu pada permukaan tampak adanya garis-garis halus yang dapat menunjukkan dengan mudah sumber patahan.
2. Patah biasanya mulai dari bagian logam yang terputus , baik dalam bahan maupun dalam bentuk , yang dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Keadaan terputus ini biasanya terjadi karena pengelasan yang kurang baik.
3. Tegangan yang menyebabkan patah getas selalu lebih rendah dari kekuatan luluh. Rambatan patahan dapat mencapai 2000 m/det.
4. Patah getas umumnya hanya terjadi pada logam dengan sel satuan BCC seperti pada baja lunak dan baja paduan rendah.

### **3.5 Tahanan Patah dan Cara Menanggulangi Patah Getas**

Tahanan logam terhadap patah getas dinamakan tahanan patah. Untuk baja karbon tahanan patahnya akan menurun dengan cepat dengan menurunnya suhu baja. Jadi dalam hal ini terjadi perubahan dari patah ulet ke patah getas yang tergantung pada temperatur. Karena hal ini maka temperatur terjadinya perubahan tersebut dinamakan temperatur transisi , seperti ditunjukkan dalam Gbr. 3.6. Dalam Gbr. 3.7 dan 3.8 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang diukur dengan besarnya energi yang diserap.



Gbr. 3.6 Keadaan transisi pada patahan

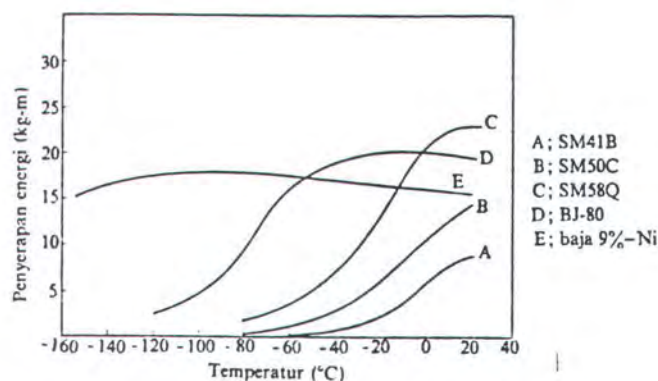


Gbr. 3.7 Hubungan antara prosentase patah getas dan energi yang diserap dengan temperatur pengujian (Charpy takik V)

Suhu dimana terjadi patahan dengan setengah energi maksimum dinamakan suhu transisi  $T_E$ . Dalam Gbr. 3.7 ditunjukkan besarnya tahanan patah yang

diukur dengan besarnya energi yang diserap untuk beberapa jenis baja. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya patah getas usaha untuk menghindarinya secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Temperatur kerja dan sifat dari baja yang mempunyai suhu transisi yang rendah dapat dihindari dengan memilih baja dan bahan las yang mempunyai tahanan patah yang baik.
2. Adanya takikan yang disebabkan karena retak las, terak dan sebab-sebab lainnya dapat dihindari dengan memperbaiki prosedur pengelasannya.
3. Konsentrasi tegangan pada sambungan yang dapat dihindari dengan perencanaan konstruksi yang baik.
4. Perubahan bentuk yang dapat menimbulkan terjadinya tegangan yang besar dalam konstruksi. Hal ini dapat dikurangi dengan prosedur pengelasan yang sesuai.



Gbr. 3.8 Kurva energi- temperatur untuk beberapa baja ( Charpy takik V-2 mm )



## BAB IV TINJAUAN EKONOMI

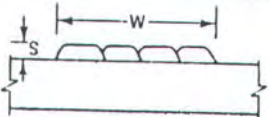
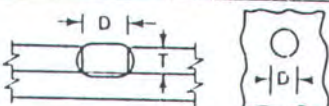
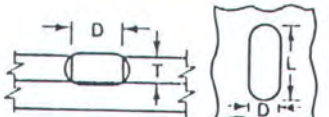
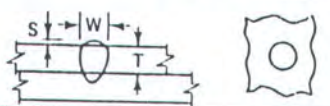
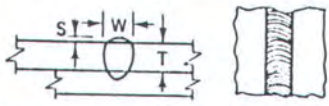
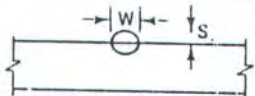
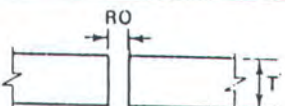
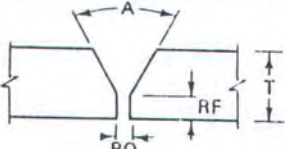
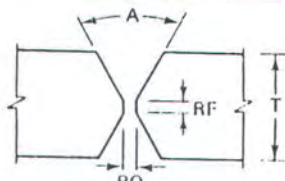
### 4.1 Biaya Pengelasan

Perhitungan biaya yang diperlukan dalam proses pengelasan tidak berbeda dengan perhitungan biaya pada beberapa proses industri lainnya termasuk di dalamnya biaya tenaga kerja, biaya material demikian juga dengan overhead. Biaya pengelasan harus ditentukan perbagian dari total biaya produksi. Sebagai contoh, dalam pengelasan pipa kita menghitung besarnya biaya pada tiap sambungan. Ini dilakukan untuk menentukan keuntungan biaya antara satu kali proses pengelasan dengan proses pengelasan lainnya atau antara desain sambungan satu dengan desain lainnya. Persiapan tiap bagian yang akan dilas dan beberapa perlakuan setelah pengelasan juga harus diperhitungkan. Perhitungan ini dapat juga digunakan untuk mengetahui keuntungan dari masing-masing type konstruksi yang digunakan. Sehingga dapat diketahui jenis konstruksi apa yang paling efisien tanpa mengabaikan segi kekuatan konstruksi.

### 4.2 Kebutuhan Material

Untuk memperhitungkan berapa besarnya biaya material yang diperlukan berdasarkan pada jumlah deposit weld metal pada sambungan las. Beberapa *welding organisation* yang memberikan standar dalam perhitungan berapa besar deposit weld metal dari beberapa jenis sambungan las. Demikian juga dengan daftar dari bentuk dan

luas dari masing-masing desain sambungan. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini :

SURFACE		$CSA = S \times W$
PLUG		$VOL = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times T$ FORMULA PROVIDES VOLUME OF WELD METAL PER WELD
SLOT		$VOL = \left[ \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 + (L - D)D \right] T$ FORMULA PROVIDES VOLUME OF WELD METAL PER WELD
ARC SPOT		$VOL = 1/2S \left(\pi \frac{W}{2}\right)^2$ (VOLUME PER WELD) FORMULA PROVIDES VOLUME OF WELD METAL PER WELD
ARC SEAM		$CSA = 1/2WS$
BEAD		$CSA = 1/2WS$
SQUARE		$CSA = RO \times T$
SINGLE V		$CSA = (T - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + RO \times T$
DOUBLE V		$CSA = 1/2(T - RF)^2 \tan\left(\frac{A}{2}\right) + RO \times T$

Tabel 4.1 Cross sectional area dari beberapa desain konstruksi sambungan las

#### 4.2.1 Elektrode

Pada tabel diatas digunakan untuk mengetahui luasan dan berat deposit weld pada masing-masing desain sambungan las. Perhitungan ini sangat penting untuk mengetahui besarnya elektrode yang diperlukan untuk pengelasan. Di samping ditentukan oleh besarnya deposit weld kita juga harus memperhitungkan besarnya elektrode yang hilang selama proses pengelasan . Kehilangan elektrode disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut :

1. Sisa-sisa potongan elektrode yang terbuang.
2. Elektrode yang terbuang dalam bentuk spatter losses.

Tetapi dalam proses pengelasan SAW faktor-faktor di atas sedikit sekali pengaruhnya sehingga dapat diabaikan, tetapi untuk proses pengelasan lainnya sangat besar pengaruhnya terutama untuk jenis las manual. Kehilangan selama proses pengelasan dianggap sebaagai ratio dan disebut Deposition Effesiency. Namun karena faktor diatas diabaikan dalam pengelasan SAW maka deposition effesiency dianggap 100%.

#### 4.2.2 Flux

Perhitungan biaya dari flux dalam pengelasan SAW berhubungan dengan berat dari deposit logam las. Hubungan ini dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\text{Biaya Flux (Rp/m)} = \text{Harga Flux (Rp/kg)} \times \text{Deposit Logam Las (kg/m)} \times \text{Flux Ratio}$$

Dalam proses pengelasan SAW secara normal satu pound flux digunakan untuk satu pound deposit weld. Sehingga ratio antara flux dengan deposit weld sama dengan satu.



Flux ratio sama dengan 1 dapat digunakan dalam perhitungan. Tetapi untuk lebih akurat, hasil test menunjukkan bahwa flux ratio bisa sampai 1,5. Meskipun flux ratio dari las SAW tinggi, tetapi karena selama proses pengelasan flux dapat digunakan lagi, maka flux ratio tidak banyak berpengaruh pada proses pengelasan SAW.

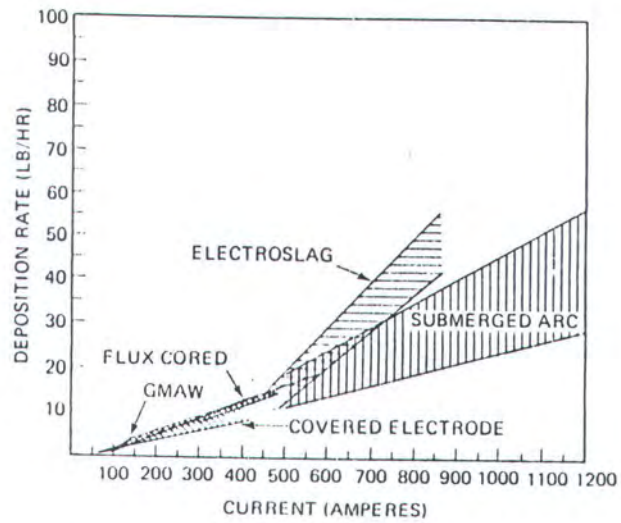
#### 4.2.3 Waktu Dan Tenaga Kerja

Biaya yang diperlukan untuk tenaga kerja pada proses pengelasan mungkin yang paling besar jika dibandingkan dengan biaya-biaya lainnya. Dari perhitungan besarnya elektrode dan deposit weld yang dibutuhkan kita dapat menentukan waktu yang diperlukan untuk pengelasan. Pada umumnya waktu menjadi dasar untuk membayar tenaga kerja. Sehingga setelah waktu yang diperlukan untuk pengelasan diketahui biaya tenaga kerja dapat ditentukan. Perhitungan biaya yang diperlukan untuk tenaga kerja dapat dilihat dari persamaan berikut :

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Rp/m)} = \frac{\text{Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam)} \times \text{Deposit Logam Las (kg/m)}}{\text{Deposit Elektrode (kg/jam)} \times \text{Faktor Operator (\%)}}$$

METHOD OF APPLICATION	OPERATOR FACTOR IN PERCENT (DUTY CYCLE)									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	100%
MANUAL (MA)										
SEMI-AUTOMATIC (SA)										
MACHINE (ME)										
AUTOMATIC (AU)										

Tabel 4.2 Faktor ratio untuk beberapa metode pengelasan



Tabel 4.3 Deposit dari elektrode pada beberapa metode pengelasan

## BAB V PERSIAPAN DAN PELAKSANAAN PENGUJIAN

### 5.1 Pendahuluan

Pengujian yang dilakukan dalam menganalisa pengelasan tanpa persiapan sisi pada baja jenis mild steel (SS 41) dengan menggunakan laas SAW meliputi tiga macam pengujian yaitu uji X-ray, uji ketangguhan patah (impact test), dan uji tarik.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemungkinan cacat yang terjadi pada hasil lasan dan bagaimanakah sifat mekanik dari pengelasan tanpa persiapan sisi jika dibandingkan dengan pengelasan yang menggunakan persiapan sisi. Sehingga dalam menganalisa hasil pengujian dilakukan perbandingan dari dua jenis prosedur pengelasan

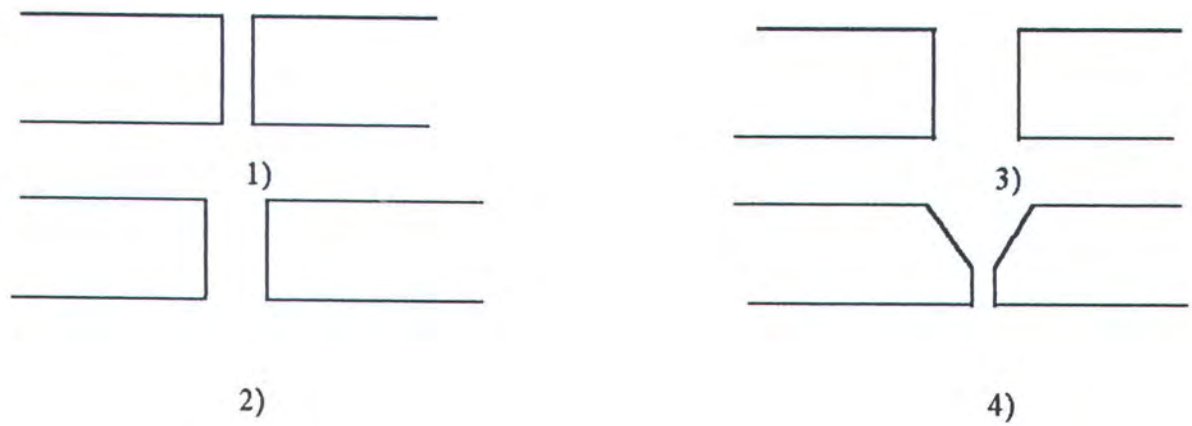
### 5.2 Persiapan

Pengelasan terdiri dari 4 prosedur pengelasan dan untuk masing-masing prosedur pengelasan diambil 4 buah specimen. Sehingga total dari specimen uji adalah 16 buah. Sebelum dilakukan pemotongan untuk pembuatan specimen terlebih dahulu dilakukan uji X-ray untuk mengetahui cacat-cacat yang terjadi pada hasil lasan. Pembagian material untuk keperluan pemotongan dapat dilihat pada gambar 5.2.

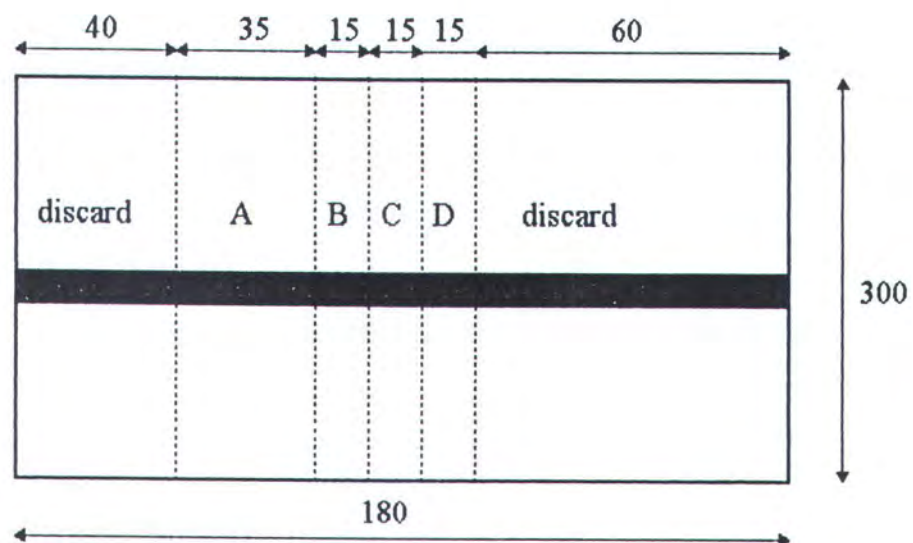
Tabel 5.1 Data untuk pengelasan

No	Lebar gap (mm)	Voltage (volt)	Kecepatan (m/jam)	Arus (amper)	Keterangan
1	1	28	32	600	
2	7	28	29	650	
3	12	28	25	650	
4	-	28	30	400	bevel Y





Gbr. 5.1 Persiapan pengelasan pelat 12 mm



Gbr.5.2 Pengambilan specimen uji dari material lasan

Keterangan :

A = specimen uji tarik

B = specimen uji impact dengan notch pada HAZ

C = specimen uji impact dengan noth pada HAZ

D = specimen uji impact dengan noth pada weld metal

### 5.3 Uji Impact

Impact test dapat diartikan suatu test yang mengukur *toughness* atau kekenyalan suatu material, yaitu kemampuan suatu material untuk menyerap energi sebelum mengalami patah. Pengurangan energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang diserap benda uji tersebut.

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai brittle atau ductile fracture. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa suatu deformasi plastis dikatakan patah secara brittle. Sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan patah secara ductile. Material yang mengalami brittle fracture hanya mampu menahan energi yang kecil sebelum mengalami kepatahan.

Methode pengujian impact yang umum dipakai adalah metode Charpy. Dan kekuatan impact suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dengan luas penampang pada daerah takikan. Energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan beat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan sesudah impact. Tanpa memperhatikan kehilangan energi, energi yang dipakai untuk mematahkan benda uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Energi awal } (E_0) : W \cdot h_0 = W \cdot L(1 - \cos \alpha)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) : W \cdot h_1 = W \cdot L(1 - \cos \beta)$$

Energi untuk mematahkan benda uji (E) adalah :

$$E = E_1 - E_0$$

$$W (h_1 - h_0) = W * L (\cos \beta - \cos \alpha) \quad [\text{kgm}]$$

Dimana :

$W$  = berat pendulum [kg]

$h_0$  = ketinggian pendulum sebelum diayunkan [m]

$h_1$  = ketinggian pendulum setelah keadaan patah [m]

$L$  = jarak antara titik berat dari pendulum ke sumbu putar [m]

$\alpha$  = sudut awal

$\beta$  = sudut akhir

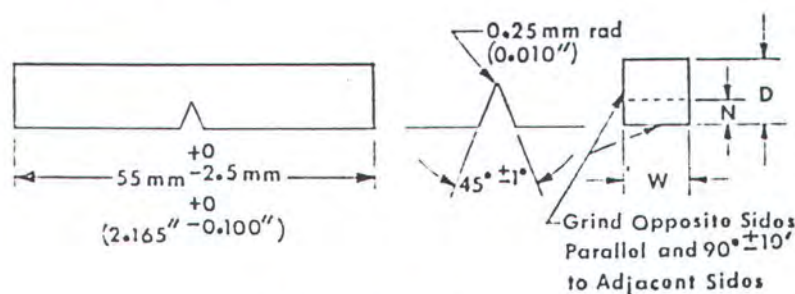
Sehingga kekuatan impact atau impact strength (IS) dari suatu material uji dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$IS = \frac{W \times L (\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad [\text{kgm/mm}^2]$$

## 5.4 Prosedur Pengujian Impact

### 1. Persiapan Specimen Untuk Pengujian

- Dimensi specimen Charpy Impact Test dibuat berdasarkan standar ASTM seperti pada gambar 5.3 berikut ini :



Gbr. 5.3 specimen uji impact



- Tiap prosedur pengelasan diambil 1 specimen untuk notch pada weld metal dan 2 specimen untuk notch pada HAZ.
- Pemeriksaan fisik ulang pada specimen untuk menghindari kemungkinan terjadinya cacat fisik sehingga tidak sesuai dengan standar yang digunakan dan pengukuran ulang specimen yang meliputi panjang, lebar, dan kedalaman notch.
- Menghitung luas penampang tepat pada notch.
- $A = \text{lebar} \times (\text{tebal} - \text{kedalaman notch})$

## **2. Pemasangan Specimen Pengujian**

- Mengangkat pendulum keatas dengan sudut dan menguncinya dengan tuas kunci.
- Memasang specimen pengujian pada tempatnya dengan posisi notch tepat pada tengah-tengah, sehingga saat dilepas dari pengunci pendulum akan memukul specimen tepat pada notch.
- Mengatur jarum skala penunjuk tepat pada posisi yang telah ditentukan untuk pengujian.

## **3. Pelaksanaan Pengujian**

- Menekan dan memutar tuas pengunci sehingga pendulum akan terlepas dari tempatnya dan berayun kebawah memukul specimen.
- Di lihat dan dicatat besarnya energi yang dilakukan pendulum untuk memukul specimen uji. Besarnya energi impact ini dapat dilihat dari angka yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk.

#### 4. Penanganan Setelah Pengujian

- Specimen yang telah diuji diambil dari tempat pengujian kemudian diamati.
- Melakukan perhitungan dari data-data yang diperoleh dari hasil pengujian.

Specimen		Luasan pada noth (mm <sup>2</sup> )	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )	Kuat Impact rata-rata
I	B	80	124	1,55	1,562
	C	80	126	1,575	
II	B	80	123	1,537	1,524
	C	80	121	1,512	
III	B	80	124	1,55	1,537
	C	80	122	1,525	
IV	B	80	126	1,575	1,581
	C	80	127	1,587	

Tabel 5.2 Hasil uji Impact dengan noth pada HAZ

Specimen	Luasan pada noth (mm <sup>2</sup> )	Energi Impact (Joule)	Kuat Impact (Joule/mm <sup>2</sup> )
I	80	132	1,652
II	80	131	1,637
III	80	133	1,662
IV	80	135	1,687

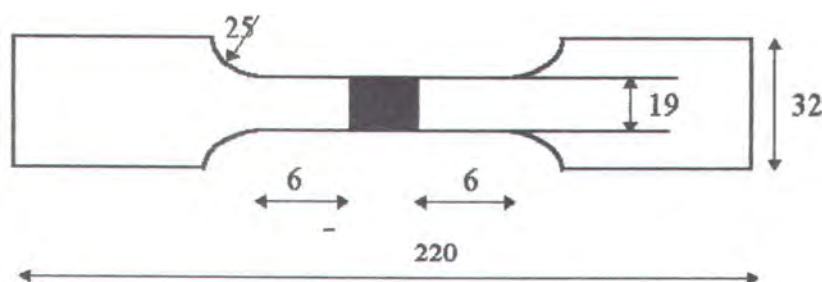
Tabel 5.3 Hasil uji Impact dengan noth pada weld metal

#### 5.5 Pengujian Tarik

Tujuan dari uji tarik adalah untuk mendapatkan sifat-sifat dari bahan logam atau logam hasil lasan berupa beban, batas ulur, kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Sedangkan prinsip dari uji tarik adalah batang uji dijepit pada kedua ujungnya pada mesin tarik kemudian ditarik secara terus menerus sampai putus.

### 5.5.1 Langkah kerja uji tarik

1. Setelah material dipotong-potong sesuai dengan ukuran yang ditentukan kemudian dilakukan pembentukan specimen untuk uji tarik dengan urutan sebagai berikut :
  - Potongan-potongan material diukur dan diberi tanda sesuai ukuran kemudian dilakukan penyekrapan.
  - Melakukan penggerindaan untuk memperhalus hasil mesin sekrap yang masih kasar.
  - Selanjutnya dilakukan penggosokkan dengan kertas gosok untuk menghilangkan alur-alur melintang akibat dari penggerindaan.
  - Setelah permukaan halus, specimen siap diuji.
2. Langkah berikutnya adalah melaksanakan pengujian dengan urutan sebagai berikut:
  - Memasang kertas grafik pada mesin uji untuk mencatat hasil pengujian.
  - Specimen dipasang pada mesin uji yaitu dengan menjepit pada kedua ujungnya.
  - Melakukan pembebanan sampai specimen putus kemudian melakukan pengamatan.



Gbr. 5.4 Specimen Uji Tarik



## 5.6 Hasil Uji Tarik

No	Spesifikasi benda uji		
	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )
1	19	12	228
2	19,07	12,09	230,56
3	19,1	12,05	230,16
4	19,09	12,07	230,42

No	Gaya yang bekerja (KN)	Penampang awal (mm)	Penampang akhir (mm)	Panjang awal (mm)	Panjang akhir (mm)
1	113,5	228	118,8	50	66,8
2	113	230,56	116,14	50	66,96
3	114,5	230,16	103,2	50	67,1
4	113	230,42	94,87	50	67,13

No	Yield Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Ult. Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of Area (%)	Keterangan
1	32,67	50,796	33,6	47,8	patah pada base metal
2	31,86	50,011	33,9	49,6	patah pada base metal
3	33,25	50,763	34,2	55,1	patah pada base metal
4	31,86	50,041	34,2	58,8	patah pada base metal

## 5.7 Pengujian Radiografi (X-ray)

Pemilihan teknik radiografi khusus, pada umumnya berdasarkan pada persyaratan sensitivitas. Discontinuities yang kecil pada test obyek akan terdeteksi bila teknik yang dipakai adalah benar atau memadai.

Variasi teknik radiografi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sumber radiasi, film yang digunakan, source to film distance.

## **1. Sumber Radiasi**

Pemilihan sumber radiasi berdasarkan pada kualitas radiasi seperti energi dimana dapat dikontrol secara langsung dengan koefisien absorpsi dan juga radiasi hamburan yang disebabkan oleh specimen. Untuk mendapatkan radiografi dengan kontras yang tinggi, perbandingan intensitas antara radiasi hamburan terhadap radiasi langsung harus sekecil mungkin. Pada umumnya X-ray sering digunakan untuk pemeriksaan alloy ringan dan material yang mempunyai density rendah.

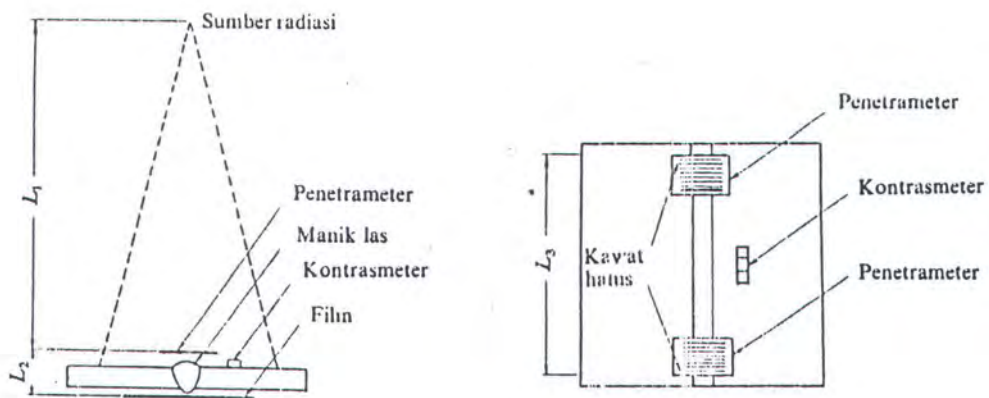
Sensitiviti tinggi adalah teknik yang dipakai untuk mendeteksi defek yang kecil. Hal ini bisa dicapai dengan menggunakan screen Pb dan film kontras tinggi. Pada teknik sensitiviti rendah biasanya dipakai untuk mendeteksi defek yang kasar atau besar.

## **2. Jenis Film**

Dalam pemeriksaan mutu bahan dengan teknik radiografi diperlukan 2 unsur pokok, pertama yaitu sumber penyinaran yang memancarkan sinar tembus kepada bahan yang dites (sinar x atau sinar  $\gamma$ ), yang kedua film yang fungsinya untuk merekam gambar yang diperiksa. Pada dasarnya film untuk radiografi ini mengandung senyawa AgBr, sinar yang mengenai emulsi yang mengandung senyawa AgBr akan berinteraksi dengan AgBr sehingga terbentuk logam Ag (perak). Logam perak yang terbentuk akan berinteraksi masih belum terlihat. Untuk dapat melihat bayangannya maka perlu proses berikutnya yang biasa disebut cuci film. Pemilihan film yang digunakan dalam penyinaran berdasarkan pada kriteria yang disyaratkan oleh code atau standart. Film diklasifikasikan dalam tiga kelas (cepat, sedang, lambat)

### 3. Jarak Sumber Ke Film

Source to Film Distance (SFD) atau jarak sumber ke film dipilih berdasarkan pada maksimum Ug (Unsharpness Geometri) yang diijinkan, untuk jenis sumber tertentu dan tebal specimen. Jarak sumber ke film juga menentukan besar daerah yang bisa diinterpretasikan. Besar SFD maksimum yang diijinkan tergantung pada standar.



Gbr.5.5 Susunan dalam pengujian radiografi



## **BAB VI ANALISA DAN KESIMPULAN**

### **6.1 Pendahuluan**

Dari hasil beberapa pengujian terhadap hasil pengelasan dengan 4 jenis prosedur pengelasan memberikan hasil yang berbeda-beda. Dalam bab ini akan dilakukan pengamatan pada hasil pengujian dari pengelasan tanpa persiapan sisi dengan variasi arus, gap, dan kecepatan pengelasan sehingga akan diketahui konstruksi sambungan manakah yang paling efisien dengan tidak mengabaikan kekuatan dan sifat dari material tersebut.

### **6.2 Analisa Hasil Pengujian**

#### **6.2.1 Analisa Secara Visual**

Sebelum dilakukan pengujian terhadap hasil lasan terlebih dahulu dilakukan pengamatan secara visual. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui bentuk dari manik las, cacat-cacat las mungkin tampak secara visual seperti undercut atau terjadinya lipatan manik. Karena hal-hal tersebut sangat berkaitan erat dengan besarnya arus, kecepatan pengelasan, dan besarnya voltage yang digunakan. Dari tabel 6.1 dapat dilihat data-data dari hasil pengamatan dengan cara visual.

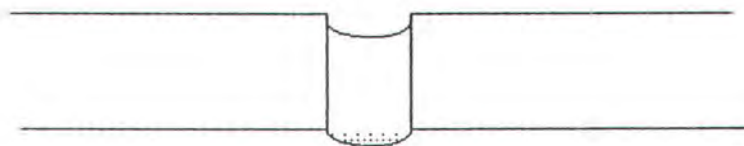
Pada specimen nomer satu manik las mempunyai bentuk paling tinggi jika dibandingkan dengan bentuk manik las dari hasil lasan lainnya. Hal ini disebabkan karena pada specimen nomer satu kecepatan pengelasannya paling tinggi dibandingkan dengan kecepatan pengelasan specimen lainnya yaitu 32 m/jam. Di samping

dipengaruhi oleh kecepatan pengelasan bentuk manik ini juga dipengaruhi besarnya arus yang digunakan. Karena arus yang tinggi dapat menyebabkan bentuk manik las seperti buah pir yaitu mahkotanya cukup tinggi tetapi didapatkan penetrasi yang dalam. Karena pelat yang digunakan cukup tebal dan tanpa menggunakan persiapan sisi maka diperlukan penetrasi pengelasan yang dalam untuk mampu menembus pelat 12 mm, sehingga digunakan arus las yang tinggi yaitu 600 Amper, meskipun akan mengakibatkan manik las yang cukup tinggi.

Pengamatan pada specimen nomer dua menunjukkan bentuk manik yang lebih rendah jika dibandingkan dengan manik pada specimen nomer dua. Hal ini sangat dipengaruhi oleh perbedaan gap dan perbedaan kecepatan pengelasan antara dua specimen tersebut, meskipun pada specimen nomer dua arusnya dinaikkan menjadi 650 Amper untuk mendapatkan logam las yang banyak, tetapi karena *tempat* yang harus diisi oleh logam las lebih besar dan kecepatan pengelasannya diturunkan menjadi 29 m/jam mengakibatkan bentuk las menjadi lebih rendah. Di samping itu manik las pada bagian bawah yaitu manik las yang menempel pada backing strip mengalami bentuk yang tidak sempurna karena gap yang cukup lebar dan kondisi flux yang menyelubungi manik las bagian bawah terhalang oleh backing strip. Kondisi dari hasil lasan pada specimen nomer tiga tinggi manik lasnya semakin menurun karena kecepatan pengelasan semakin diturunkan untuk menghasilkan logam las yang banyak selain itu karena dengan menurunnya kecepatan pengelasan cairan logam las cenderung bergerak ke arah samping, sehingga diharapkan penetrasi pada dinding logam akan baik mengingat gap dari pengelasan yang cukup tinggi. Tetapi dengan kecepatan pengelasan yang rendah menyebabkan manik las semakin rendah pula dan kemungkinan terjadinya



lipatan manik sangat besar. Walaupun pengelasan ini dapat dilakukan, tetapi pada prakteknya sangat sulit dilakukan karena jika logam las tidak mampu melewati atau paling tidak sama dengan ketinggian dari logam dasar, maka sulit untuk melepaskan terak dari pengelasan karena terhimpit oleh dinding-dinding logam dasar. Keadaan ini dapat dilihat pada gambar 6.1 atau sering disebut dengan *Excessive sag*. Meskipun logam las dapat melewati ketinggian dari logam dasar, tetapi karena manik las yang sangat rendah atau dapat dikatakan datar, maka diperlukan satu layer lagi untuk mendapatkan manik las yang baik sehingga membutuhkan jumlah elektrode dan biaya-biaya lainnya seperti listrik.



**Gbr. 6.1 Hasil pengelasan akibat logam las tidak cukup banyak untuk mengisi gap dari pengelasan**

Dan salah satu hal yang terpenting untuk menjadi pertimbangan dalam penelitian ini bahwa jenis sambungan ini sangat tidak efisien jika dibandingkan dengan konstruksi sambungan pada specimen satu dan dua. Untuk pembahasan ekonomis secara lebih terinci akan dibahas pada bagian tersendiri.

Untuk specimen nomer empat tidak mengalami kesulitan yang berarti dalam pengelasannya karena konstruksi sambungan yang digunakan adalah sambungan Y yaitu



salah satu sambungan yang biasa dipakai pada beberapa jenis pengelasan. Manik las yang dihasilkan relatif lebih baik jika dibandingkan dengan specimen satu, dua, dan tiga karena arus yang digunakan tidak terlalu tinggi sedangkan kecepatannya 30 m/jam.

Specimen	Bentuk manik	Ukuran manik	Undercut
1	sempit	tinggi	dalam
2	lebar	sedang	dalam
3	sangat lebar	rendah	dalam
4	sedang	sedang	dangkal

Tabel 6.1 Data hasil pengamatan secara visual

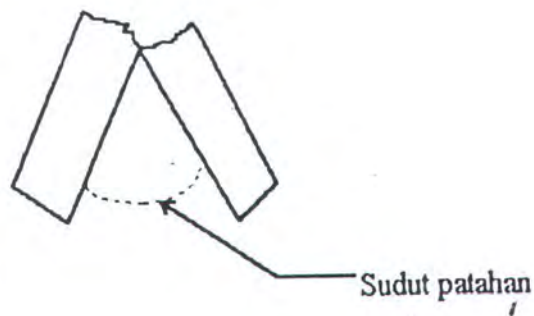
### 6.2.2 Analisa hasil Uji X-ray

Pengujian X-ray bertujuan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya cacat yang tidak tampak secara visual seperti slag inclusion, incomplete penetration, dan cacat-cacat lainnya. Setelah dilakukan pengujian dengan standar yang diijinkan (lihat data pada hasil uji X-ray ) ternyata tidak terjadi cacat pada weld metal sehingga untuk pengujian selanjutnya dapat dilakukan.

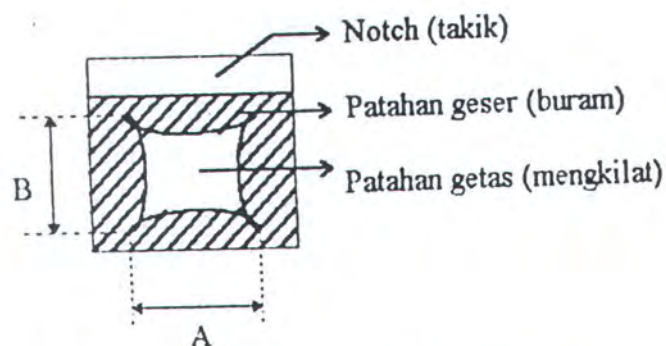
### 6.2.3 Analisa Hasil Uji Impact

Tujuan dari pengujian Impavct ini adalah untuk mengetahui kekuatan tumbuk dari material. Kekuatan tumbuk dari suatu material adalah kemampuan bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji dengan palu ayun atau pendulum pada alat uji.

Sifat ini perlu diperhatikan karena logam dengan kuat tarik yang sama belum tentu mempunyai ketangguhan las yang sama dan logam yang kuat belum tentu mempunyai kekuatan tumbuk yang tinggi. Hal yang jelas bahwa sifat ini sangat dipengaruhi dengan temperatur. Ketangguhan tumbuk akan menurun dengan menurunnya temperatur, dan akan mengalami penurunan yang sangat cepat pada suhu transisi.



Gbr. 6.2 Penampang memanjang hasil uji Impact



Gbr. 6.3 Penampang melintang hasil uji Impact

Specimen	Panjang (A) mm	Lebar (B) mm	Prosentase patahan getas dalam %	Sudut patahan
I	7,4	3,2	29,6	67°
II	7,3	4,1	37,4	64°
III	7,1	4,3	38,2	70°
IV	7,7	2,1	20,2	76°

Tabel 6.2 Data hasil uji Impact pada daerah weld metal

Specimen		Panjang (A) mm	Lebar (B) mm	Prosentase patahan getas dalam %	Sudut patahan
I	1	7,3	3,3	30,1	59°
	2	7,1	3,4	30,2	61°
II	1	7,1	4,1	36,4	58°
	2	6,9	3,2	27,6	54°
III	1	7,2	4,3	38,7	59°
	2	7,6	3,6	34,2	56°
IV	1	7,2	3,2	28,8	60°
	2	7,3	3,0	27,4	61°

Tabel 6.3 Data hasil uji Impact pada daerah HAZ

Meskipun kekuatan tumbuk dari bahan sangat dipengaruhi oleh temperatur, tetapi dalam penelitian ini arus juga mempengaruhi kekuatan tumbuk secara tidak langsung karena dengan arus yang besar mengakibatkan terjadinya *angular misalignment*. Cacat jenis dapat mempengaruhi kekuatan tumbuk karena menimbulkan tegangan yang besar pada daerah lasan. Indikasi ini dapat kita lihat pada specimen nomer tiga yang mempunyai kuat Impact paling kecil jika dibandingkan dengan specimen lainnya karena pada proses pegelasannya menggunakan arus tinggi dan



kecepatan rendah sehingga menghasilkan heat input yang tinggi. Kondisi ini dapat kita lihat pada tabel 5.2 dan 5.3 hasil uji Impact.

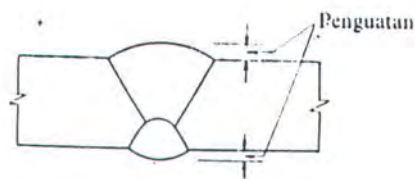
Dari dua grafik di atas juga menunjukkan bahwa kekuatan tumbuk dari daerah HAZ lebih kecil jika dibandingkan dengan kekuatan tumbuk daerah weld metal ini disebabkan karena struktur kristal dari HAZ lebih besar jika dibandingkan dengan struktur kristal weld metal dan logam dasar. Hal lain yang juga berpengaruh adalah adanya tegangan sisa negatif pada sambungan las yang terkonsentrasi pada daerah HAZ.

#### **6.2.4 Analisa Uji Tarik**

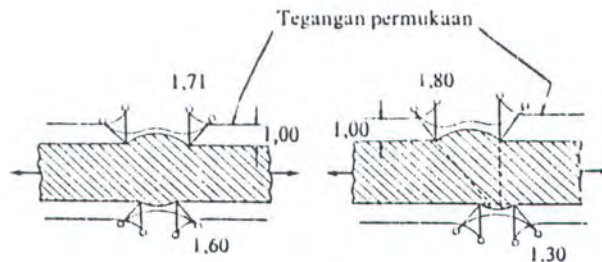
Dalam suatu sambungan las sifat tarik sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las, dan sifat-sifat dari sambungan yang berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan.

Dalam suatu konstruksi las selalu digunakan logam las yang mempunyai keuletan dan kekuatan yang lebih baik atau paling tidak sama dengan logam induk. Tetapi karena proses pengelasan, kekuatan dan keuletan logam dapat berubah. Dalam hal logam las sifat ini dipengaruhi oleh keadaan, cara, dan prosedur pengelasan. Dalam pelaksanaannya manik las dalam las tumpul mempunyai ketebalan yang lebih dari pada tebal pelat yang dilas dan ini disebut penguatan las (Gbr. 6.4). Pada tempat pertemuan antara penguat las dan logam induk terjadi ketidak lanjutan yang menyebabkan terbentuknya pengumpulan atau konsentrasi tegangan yang besarnya tergantung dari bentuk kaki las dan adanya takik las. Bila bentuk manik las rapi

konsentrasi tegangan yang terjadi antara 1,3 sampai 1,8 tegangan rata-rata seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.5.



Gbr. 6.4 Penguatan pada lasan



Gbr. 6.5 Konsentrasi tegangan pada las sudut

Pada dasarnya kekuatan sambungan las tumpul sama dengan kekuatan logam induk asal saja pemilihan bahan las dan cara pengelasannya betul dan ini dapat kita lihat pada hasil uji Impact yang mempunyai kuat tarik rata-rata  $50 \text{ kg/mm}^2$ . Logam induk menggunakan SS41 dengan kuat tarik  $41\text{-}52 \text{ kg/mm}^2$ .

### 6.2.5 Analisa Dari Segi Ekonomi

Untuk menurunkan biaya dari suatu proses pengelasan harus diadakan pertimbangan yang menyeluruh dari sudut rencana, prosedur, dan pasaran bahan dan beberapa pertimbangan lainnya. Dalam penelitian ini karena proses pengelasan menggunakan mesin las, flux, elektrode, dan bahan yang sama, maka analisa biaya atau analisa secara ekonomis dibatasi hanya dari segi konstruksi sambungan. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam usaha penurunan biaya diantaranya adalah :

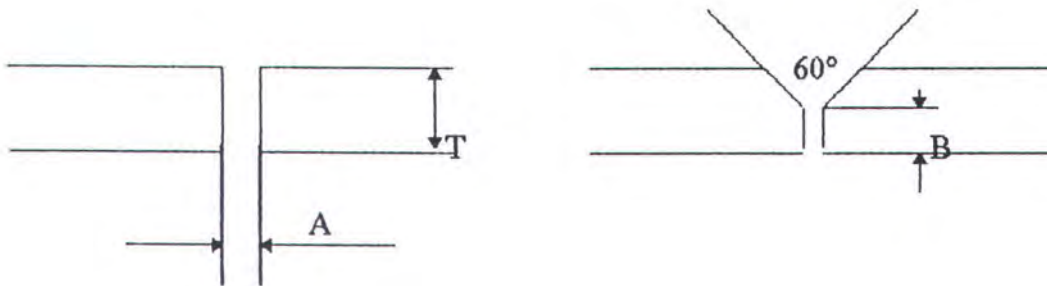
1. Menyederhanakan konstruksi.
2. Di usahakan menggunakan bahan dan konstruksi yang standar.
3. Di hindari sejauh mungkin pengelasan di lapangan.

Tentunya masih ada pertimbangan-pertimbangan lainnya, tetapi karena keterbatasan ruang lingkup dari tugas akhir ini, maka pembahasannya hanya pada beberapa faktor di bawah ini.

Dalam pembahasan kali ini akan dihitung besarnya deposit dari weld metal dan biaya tenaga kerja yang dibutuhkan untuk masing-masing konstruksi sambungan. Untuk menghitung besarnya Cross Section Area (CSA) dari masing-masing konstruksi sambungan dapat dilihat pada lampiran .Dalam buku Modern Welding Technology disebutkan bahwa untuk baja secara umum, constanta dari deposit weld metal sekitar  $0,283 \text{ lb/in}^3$  atau sekitar  $8,6 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$ . Sedangkan perhitungan besarnya deposit weld metal dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Deposit Weld Metal (kg/mm)} = \text{Cross Section Area (mm}^2\text{)} \times 8,6 \times 10^{-6} \text{ kg/mm}^3$$





Gbr. Dimensi sambungan las yang digunakan untuk perhitungan CSA

Specimen	A (mm)	B (mm)	Sudut	Tebal pelat (mm)	Cross Section Area (CSA) dalam mm <sup>2</sup>
1	1	-	-	12	12
2	7	-	-	12	84
3	12	-	-	12	144
4	1	4	60°	12	49

Tabel. Perhitungan Cross Section Area

Biaya Flux (Rp/m) = Harga Flux (Rp/kg) x Deposit Logam Las (kg/mm) x Flux Ratio

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Rp/m)} = \frac{\text{Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam)} \times \text{Deposit Logam Las (kg/mm)}}{\text{Deposit Elektrode (kg/jam)} \times \text{Faktor Operator (\%)}}$$

Pada perhitungan biaya flux dalam proses pengelasan ini besarnya harga flux /kg dan besarnya flux ratio untuk masing-masing konstruksi sambungan adalah sama, maka harga flux/kg x flux ratio dianggap sebagai konstanta ( $C_1$ ). Demikian juga dengan biaya tenaga kerja/jam, deposit elektrode, dan faktor operator adalah sama

untuk perhitungan biaya tenaga kerja secara keseluruhan, maka ketiga parameter tersebut dianggap sebagai konstanta ( $C_2$ ). Sehingga persamaan diatas menjadi :

$$\text{Biaya Flux (Rp/m)} = C_1 \times \text{Deposit weld metal (kg/mm)}$$

$$\text{Biaya Tenaga Kerja (Rp/m)} = C_2 \times \text{Deposit weld metal (kg/mm)}$$

Specimen	Cross Section Area (mm <sup>2</sup> )	Deposit weld metal (kg/mm)	Biaya flux (Rp/m)	Biaya tenaga kerja (Rp/m)
1	12	$1,03.10^{-4}$	$C_1 \times 1,03.10^{-4}$	$C_2 \times 1,03.10^{-4}$
2	84	$7,22.10^{-4}$	$C_1 \times 7,22.10^{-4}$	$C_2 \times 7,22.10^{-4}$
3	144	$12,38.10^{-4}$	$C_1 \times 12,38.10^{-4}$	$C_2 \times 12,38.10^{-4}$
4	49	$4,21.10^{-4}$	$C_1 \times 4,21.10^{-4}$	$C_2 \times 4,21.10^{-4}$

Tabel perhitungan biaya Flux dan Tenaga kerja

Dari data diatas menunjukkan bahwa dari ke 4 konstruksi sambungan las yang mempunyai efisiensi yang baik adalah konstruksi nomer 1. Meskipun pada nomer 2 dan nomer3 dapat dilakukan pengelasan dengan sifat material yang sedikit berbeda dengan konstruksi nomer 4 tetapi ternyata dari segi ekonomi sangat tidak efisien jika dibandingkan dengan specimen nomer 4. Bahkan untuk sambungan nomer 3 dalam proses pengelasannya sangat sulit dilakukan karena disebabkan gap yang terlalu besar.

## 6.3 Kesimpulan dan Saran

### 6.3.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa dan pengamatan dari hasil pengujian mengenai pengelasan tanpa persiapan sisi dengan menggunakan las SAW pada baja SS 41 dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Dari semua rangkaian percobaan yang telah dilakukan memberikan data-data yang saling berhubungan, hal ini menunjukkan bahwa percobaan dalam Tugas Akhir ini cukup berhasil.
2. Meskipun dari keempat specimen dapat dilakukan pengelasan dan data yang dihasilkan menunjukkan bahwa masing-masing konstruksi sambungan mempunyai sifat-sifat material yang tidak jauh berbeda, tetapi selama proses pengelasan pada specimen nomer 3 mengalami kesulitan, hal ini disebabkan gap yang terlalu besar. Gap yang terlalu besar dapat menyebabkan beberapa kerugian dalam pengelasan diantaranya adalah :
  - Logam las tidak mampu mengisi celah las sehingga menyebabkan excessive sag.
  - Dengan terjadinya excessive sag akan menyebabkan terak las tidak dapat terangkat sehingga tidak dapat dilakukan pengelasan lebih lanjut.
  - Diperlukan arus yang tinggi dan kecepatan yang rendah untuk bisa mengisi celah sehingga sangat merugikan pada kekuatan sambungan las.
3. Di tinjau dari segi ekonomis dari tiga specimen yang dibandingkan dengan salah satu konstruksi sambungan las yang sudah umum (Y) ternyata hanya specimen nomer satu dengan gap sebesar 1 mm yang mempunyai efisiensi yang paling baik.



Meskipun tetap dapat dilakukan pengelasan, specimen nomer 2 (7 mm) dan 3 (12 mm) ternyata tidak lebih efisien dari specimen nomer 4 (Y).

### 6.3.2 Saran

Suatu penelitian tentu tidak akan dapat secara mutlak memberikan kebenaran dalam menyelesaikan suatu masalah karena banyak faktor yang saling mempengaruhi sehingga kita haru mengabaikan beberapa diantaranya. Untuk itu penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Untuk melengkapi hasil penelitian perlu kiranya dilakukan analisa terhadap struktu mikro dengan melakukan pengujian photo mikro struktur.
2. Prosedur pengelasan tanpa persiapan sisi ini akan sangat dirasakan pengaruhnya untuk pelat-pelat tebal di atas 30 mm juga untuk pengelasan pressure vessel atau pengelasan melingkar. Sehingga perlu kiranya untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kemungkinan pemakaian prosedur pengelasan tanpa persiapan sisi dengan las SAW pada pelat tebal.

tebal  
plat 12 mm

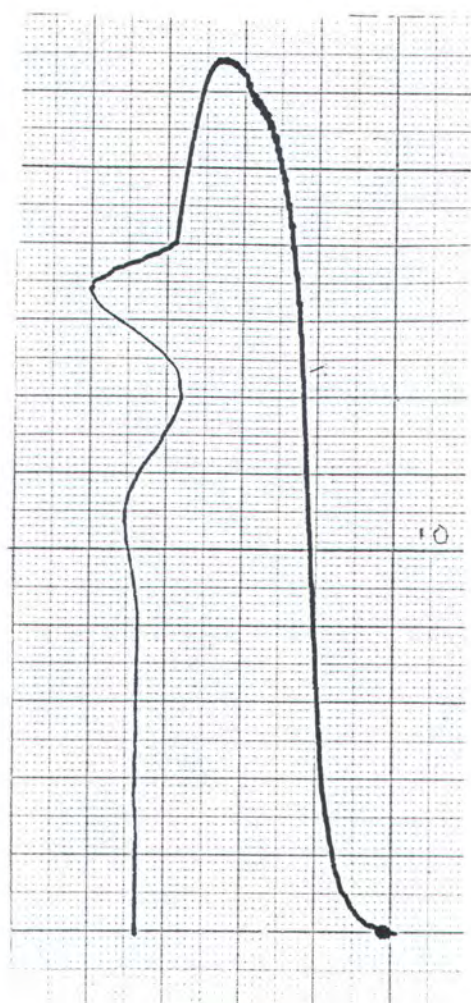


## DAFTAR PUSTAKA

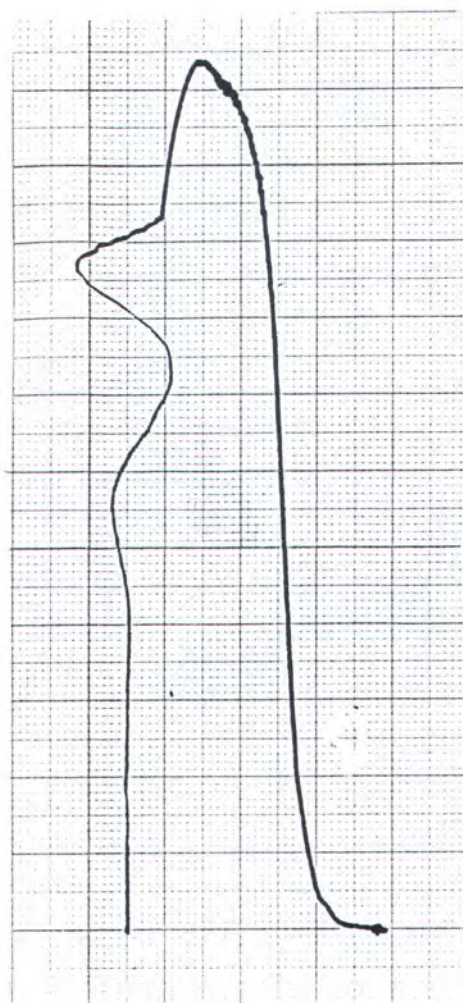
1. Edited by Oscar J.Horger, "**Metals Engineering Design, ASME Hand Book** ", Sponsored by The Metal Engineering Hand Book Managing Comittee of American Society of Mechanical Engineers, Second Edition.
2. JIS, "**Ferrous and Metalurgy, JIS Hand Book**", Japanese Standard Assosiation, 1981.
3. Edited by Houldcroft F.Eng, "**Submerged Arc Welding** ", Hand Book in Welding Technology Series.
4. Howard B. Cary, "**Modern Welding Technology** ".
5. Melvin M. "**Introduction to Mechanical Properties of Material** ", Eisenstadt The University of California at Santa Barbara.
6. A. G. Guy, "**Essential of Material Science** ", Professor of Material Science and Engineering University of Florida.
7. Ir. Soeweify, M. Eng , " Transparasi Teknologi Las ".
8. "**Guide For The Visual Inspection of Weld** ", ANSI/AWS BL 11-88 An American of Weld.
9. James F. Lincoln, "**Metal and How to Weld Them**".
10. Prof. Dr. Harsono Wiryosumarto dan Prof. Dr. Toshie Okumura, "**Teknologi Pengelasan Logam** ".

## LAMPIRAN 1 : Grafik Hasil Uji Tarik

( 1 mm = 1 KN )



Specimen 1

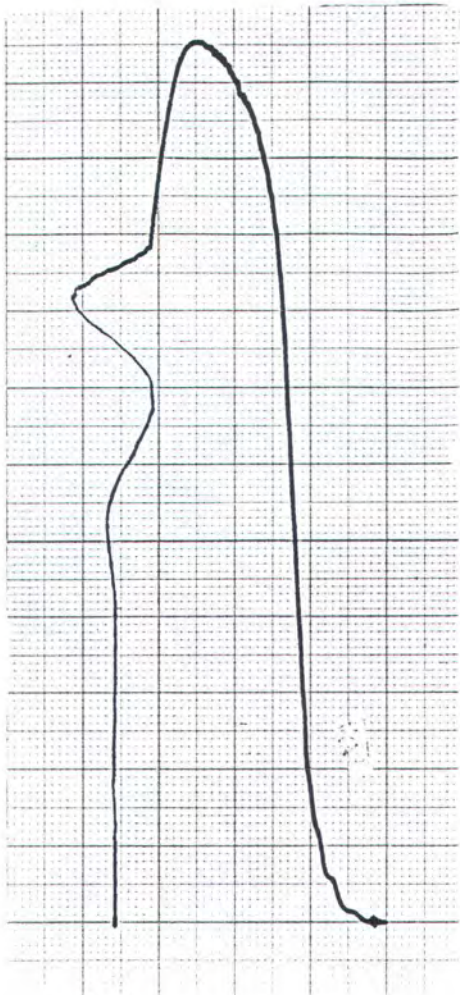


Specimen 2

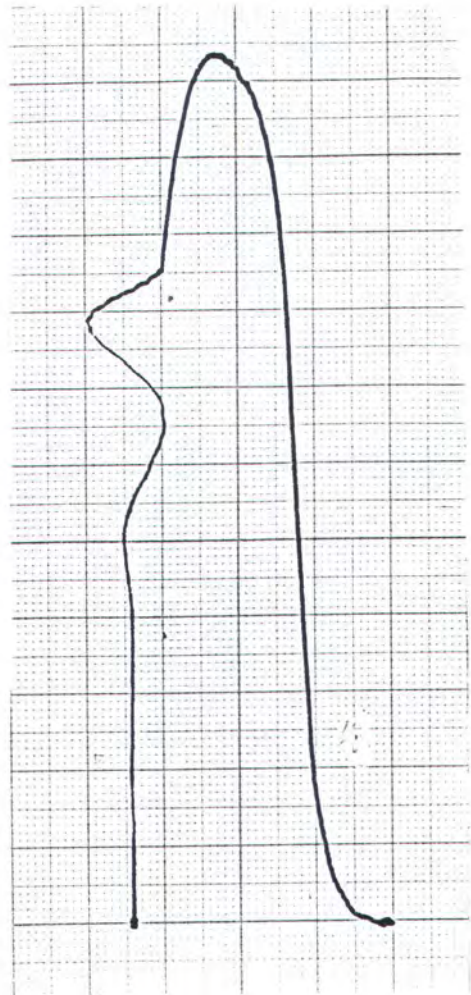


## LAMPIRAN 2 : Grafik Hasil Uji Tarik

( 1 mm = 1 kN )



Specimen 3



Specimen 4

# LAMPIRAN 3 : Tabek Untuk Perhitungan Prosentase Dari Patahan Hasil Uji

## Impact

TABLE 1 Percent Shear for Measurements Made in Millimetres

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension <i>B</i> , mm	Dimension <i>A</i> , mm																		
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	10
1.0	99	98	98	97	96	96	95	94	94	93	92	92	91	91	90	89	89	88	88
1.5	98	97	96	95	94	93	92	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81
2.0	98	96	95	94	92	91	90	89	88	86	85	84	82	81	80	79	77	76	75
2.5	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	81	80	78	77	75	73	72	70	69
3.0	96	94	92	91	89	87	85	83	81	79	77	76	74	72	70	68	66	64	62
3.5	96	93	91	89	87	85	82	80	78	76	74	72	69	67	65	63	61	58	56
4.0	95	92	90	88	85	82	80	77	75	72	70	67	65	62	60	57	55	52	50
4.5	94	92	89	86	83	80	77	75	72	69	66	63	61	58	55	52	49	46	44
5.0	94	91	88	85	81	78	75	72	69	66	62	59	56	53	50	47	44	41	37
5.5	93	90	86	83	79	76	72	69	66	62	59	55	52	48	45	42	38	35	31
6.0	92	89	85	81	77	74	70	66	62	59	55	51	47	44	40	36	33	29	25
6.5	92	88	84	80	76	72	67	63	59	55	51	47	43	39	35	31	27	23	19
7.0	91	87	82	78	74	69	65	61	56	52	47	43	39	34	30	26	21	17	12
7.5	91	86	81	77	72	67	62	58	53	48	44	39	34	30	25	20	16	11	6
8.0	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0

TABLE 2 Percent Shear for Measurements Made in Inches

NOTE—100 % shear is to be reported when either *A* or *B* is zero.

Dimension <i>B</i> , in.	Dimension <i>A</i> , in.																	
	0.05	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24	0.26	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	
0.05	98	96	95	94	94	93	92	91	90	90	89	88	87	86	85	85	84	
0.10	96	92	90	89	87	85	84	82	81	79	77	76	74	73	71	69	68	
0.12	95	90	88	86	85	83	81	79	77	75	73	71	69	67	65	63	61	
0.14	94	89	86	84	82	80	77	75	73	71	68	66	64	62	59	57	55	
0.16	94	87	85	82	79	77	74	72	69	67	64	61	59	56	53	51	48	
0.18	93	85	83	80	77	74	72	68	65	62	59	56	54	51	48	45	42	
0.20	92	84	81	77	74	72	68	65	61	58	55	52	48	45	42	39	36	
0.22	91	82	79	75	72	68	65	61	57	54	50	47	43	40	36	33	29	
0.24	90	81	77	73	69	65	61	57	54	50	46	42	38	34	30	27	23	
0.26	90	79	75	71	67	62	58	54	50	46	41	37	33	29	25	20	16	
0.28	89	77	73	68	64	59	55	50	46	41	37	32	28	23	18	14	10	
0.30	88	76	71	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	3	
0.31	88	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	18	10	5	0	



# PT KRAKATAU STEEL

HEAD OFFICE : WISMA BAJA, Jalan Gatot Subroto Kav. 54 Jakarta Selatan  
 Phone : 510268, 510454, 510881, 511796, 5200670,  
 5200671, 5200893, 5200990, 5204010  
 Facsimile : 5200870 & 5204208  
 Telex : 62958 & 62995 PTKS IA  
 P.O. Box : 174 JKT - Indonesia.

FIELD OFFICE : Cilegon - West Java  
 Phone : 5202869 (4 lines), 5202873 (5 lines)  
 Facsimile : 348275, 5203159, 5203181, 5202883  
 Telex : 45595, 44490 KS LOG IA - 45533 KS PROD IA  
 P.O. Box : 14 Cilegon

## MILL CERTIFICATE

REMARK :  
 1. PRIME HEAVY PRODUCED HOT ROLLED  
 STEEL SHEET/PLATE, CUT TO LENGTH  
 2. SHIP PLATE  
 3. BPL GRADE "A"

LC. NO.  
 CERTIFICATE NO. DIF:27801:2572574C/DW/1A/91  
 DATE : SEPTEMBER 27, 1991  
 PURCHASE ORD. NO.  
 DELIVERY ORD. NO.  
 SUPPLIER ORD. NO.  
 ORDER NUMBER F127801

PAGE : 001 OF 01

ITEM NO	SLAB NO	DE- (KAT)	COIL NO. (KAT)	PACKING NO	TEST NO.	DIMENSION (mm)	CHEMICAL COMPOSITION (100%) (C)	TENSILE TEST						IMPACT TEST		REMARK		
								RE	RD	A	TEST	REMARK						
								C	SI	MN	P	S	AL	RE	RD	A	TEST	REMARK
														RE	RD	A	TEST	REMARK
1	1400	RR	1576452	8805	1576452	7.00X1524X 8096	9116.0	1.9	94.6	1.2	0.8	3.5	333	460	21			
2	1200	RR	1576453	8801	1576453									332	468	20		
3		RR	1576453	8802														
4	1000	RR	1576426	8805	1576426	7.00X1524X 8096	7117.1	0.1	90.0	1.2	0.8	1.6	312	450	20			
5	1000	RR	1577736	8802	1577736	9.00X1524X 8096	7117.5	1.9	98.9	1.2	0.8	1.6	306	461	24			
6	1000	RR	1577731	8806	1577731	10.00X1524X 8096	2117.7	1.8	87.2	1.2	0.8	1.6	332	477	22			
7	1200	RR	1577736	8804	1577736	10.00X1524X 8096	6117.6	1.2	91.3	1.2	0.8	1.6	329	473	22			
8		RR	1577736	8802														
9		RR	1577736	8804														
10	1000	RR	1577739	8802	1577739	11.00X1524X 8096	6119.1	1.5	95.2	1.2	0.8	1.6	330	483	21			
11		RR	1577739	8803														
12		RR	1577739	8805														
13		RR	1577739	8805														
14	1200	RR	1577740	8807	1577740	11.00X1524X 8096	1116.5	1.7	87.1	1.2	0.8	1.6	342	471	20			
15	1000	RR	1580017	8203	1580017	11.00X1524X 8096	5117.7	1.7	97.5	1.2	0.8	1.6	311	451	24			
16		RR	1580017	8201														
17	1000	RR	1577870	8203	1577870	10.00X1524X 8096	3117.6	1.8	94.9	1.2	0.8	1.6	355	478	24			
18	1000	RR	1584305	8201	1584305	11.00X1524X 8096	3117.7	2.0	83.3	1.2	0.8	1.6	309	453	20			
19		RR	1584305	8203														



REMARK : RR-SPECIAL KILLED (FINE GRAIN TREATMENT)

SURVEYOR TO  
 KRAKATAU STEEL

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL HEREIN DESCRIBED HAS BEEN MADE  
 BY THE ELECTRIC PUPANCE PROCESS APPROVED BY AND IN ACCORDANCE WITH  
 THE RULES OF BIRU KLASIFIKASI INDONESIA FOR GRADE "A" STEEL AND IS  
 THAT WHICH HAS BEEN TESTED IN THE PRESENCE OF THE SOCIETY'S REPRESENTATIVE WITH SATISFACTORY RESULT.

DIVISION OF METALLURGY



LAMPIRAN 4 : Sertifikat Dari Material Uji (SS 41)